10/0.4kV配电

实用技术培训教程

10/0.4kV PEIDIAN SHIYONG JISHU PEIXUN JIAOCHENG

狄富清　狄晓渊　编著













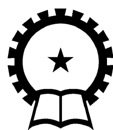
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

10/0.4kV 配电实用技术培训教程

狄富清　狄晓渊　编著



机 械 工 业 出 版 社

本书是作者根据自己多年对电力公司职工、社会电工的培训及从事10/0.4kV 配电技术工作的经验而写成的。本书共分为 14 章，内容包括电工常用电气计算、配电变压器、低压电器、高压电器、低压成套配电装置、高压成套配电装置、箱式变电站、母线装置、无功功率补偿装置、电力线路、电力测量仪表与电能计量装置、二次回路、微机保护装置、防雷与接地装置。本书不仅详细介绍了电气设备的结构原理、选择及安装、运行维护、操作技能、异常故障的检查处理，而且列出其大量的技术参数。同时，书中还列举了大量实用例题。

本书可作为 10/0.4kV 配电实用技术电工培训教材，也可作为职业技术学校的教科书。同时适用于广大农民工的培训，对提高其电工技能将有极大帮助。

图书在版编目（CIP）数据

10/0.4kV 配电实用技术培训教程/狄富清，狄晓渊编著. —北京：机械工业出版社，2013.4
ISBN 978-7-111-41960-0

Ⅰ.①1… Ⅱ.①狄…②狄… Ⅲ.①配电系统-技术培训-教材 Ⅳ.①TM727

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 061206 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
策划编辑：付承桂 责任编辑：任 鑫
版式设计：霍永明 责任校对：李锦莉 刘秀丽
封面设计：赵颖喆 责任印制：张 楠
北京京丰印刷厂印刷
2013 年 6 月第 1 版 · 第 1 次印刷
184mm×260mm · 32.25 印张 · 799 千字
0 001—3 000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-41960-0
定价：88.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
社服务中心：（010）88361066	教 材 网：http：//www.cmpedu.com
销 售 一 部：（010）68326294	机工官网：http：//www.cmpbook.com
销 售 二 部：（010）88379649	机工官博：http：//weibo.com/cmp1952
读者购书热线：（010）88379203	**封面无防伪标均为盗版**

前　言

随着国家经济平稳快速发展、城乡经济技术开发区的大量建设、人民生活水平的日益提高、城乡居民住宅小区建设规模不断扩大，为此，必须加速建设与改造10/0.4kV城乡配电网。

由于处在知识经济的年代，10/0.4kV 配网综合自动化程度日益提高，配电设备不断更新，技术更加先进，10/0.4kV 配电运行管理技术已经发生了深刻变化。非晶合金节能型配电变压器、干式变压器、箱式变电站、真空断路器、六氟化硫（SF_6）断路器、智能化低压断路器、多功能电能表、架空绝缘电缆线路等新设备新技术已被广泛应用。10/0.4kV 配电所全面采用微机保护监控装置，实现了电气设备的保护、遥控、遥测、遥信、遥调综合自动化技术管理。由此，广大电工必须学会使用新设备，掌握新技术，不断提高对10/0.4kV 配电所电气设备及电力线路的现场运行维护管理水平，提高现场实际操作技能，提高对现场电气设备发生的各种异常故障及事故处理的综合能力。为此，我们特意编写了本书，以供从事于10/0.4kV 配电网建设与运行管理工作的广大电工作为培训教材和日常工作中的参考用书。同时也可作为中等职业技术学校的电工专业技术教材。对广大农民工进城，从事10/0.4kV 电气设备的安装作业者，本书也可作为参考用书。

本书技术先进、内容丰富、资料翔实、图文并茂。全书共分为14章，重点介绍电工常用电气计算、配电变压器、箱式变电站、高低压电气设备及成套配电装置，二次回路、微机保护装置、电能计量及电力线路等内容。将10/0.4kV 电工常用计算、电气设备的基本结构、动作原理、安装工艺、线路架设、运行管理、倒闸操作、事故处理等内容，与其相关的实用技术参数紧密结合，融于全书，便于读者学习使用。此外，本书还详细介绍了10/0.4kV 短路电流的含义及计算，微机保护装置动作电流的整定计算，并列举了大量实用例题。

本书在编写过程中，参考了许多作者的相关文献，得到机械工业出版社电工电子分社牛新国社长的大力支持，付承桂和任鑫两位编辑也提出了许多宝贵的修改意见，在此，一并表示深深谢意！

由于作者经验和水平有限，书中难免出现错误和不妥之处，敬请广大读者批评指正。

作　者

2012年12月23日

目　　录

前言

第一章　电工常用电气计算 …… 1

第一节　直流电路 …… 1

一、欧姆定律 …… 1

二、串联电路 …… 1

三、并联电路 …… 1

四、电功率与电能 …… 2

第二节　单相交流电路 …… 2

一、瞬时值和最大值 …… 2

二、周期、频率与角频率 …… 3

三、正弦交流电的有效值 …… 3

四、交流电的电阻、电感、电容的计算 …… 3

五、交流电路的功率和功率因数 …… 5

第三节　三相交流电路 …… 5

一、三相对称交流电动势表示方法 …… 5

二、三相电路的联结 …… 6

三、三相交流电路的功率及功率因数 …… 7

第四节　短路电流的含义及计算原则 …… 8

一、短路电流的含义 …… 8

二、短路电流计算的一般原则 …… 8

第五节　短路回路各元件阻抗的计算 …… 9

一、10kV 系统电抗的计算 …… 9

二、配电变压器阻抗的计算 …… 9

三、配电变压器零序阻抗的计算 …… 11

四、导线、电缆阻抗的计算 …… 13

五、母线阻抗的计算 …… 16

六、低压断路器及刀开关的阻抗值 …… 16

第六节　10kV 配电系统短路电流的计算 …… 17

一、基准值的计算 …… 17

二、标幺值的计算 …… 17

三、10kV 配电系统电抗标幺值的计算 …… 18

四、配电变压器阻抗标幺值的计算 …… 18

五、电力线路阻抗标幺值的计算 …… 19

六、短路电流的计算 …… 19

第七节　短路电流计算实例 …… 20

第八节　低压短路电流的计算 …… 23

一、短路电流有效值的计算 …… 23

二、短路冲击电流的计算 …… 23

三、短路电流最大有效值的计算 …… 24

四、短路容量的计算 …… 24

第九节　电气设备的校验 …… 27

一、短路动稳定校验 …… 27

二、短路热稳定校验 …… 28

三、短路容量校验 …… 28

第二章　配电变压器 …… 29

第一节　配电变压器的工作原理 …… 29

一、概述 …… 29

二、工作原理 …… 29

第二节　配电变压器结构 …… 30

一、配电变压器的外形结构 …… 30

二、油箱及冷却装置 …… 30

三、变压器的器身 …… 31

四、保护装置 …… 32

五、调压装置 …… 33

六、出线装置 …… 33

第三节　配电变压器铭牌及技术参数 …… 33

第四节　油浸式配电变压器 …… 37

一、SBH11-M 型配电变压器 …… 37

二、SBH16-M 型配电变压器 …… 38

第五节　干式配电变压器 …… 38

一、概述 …… 38

二、干式配电变压器的分类 …… 38

三、SCBH10 型干式配电变压器 …… 39

四、SCB9-Z 型干式有载调压配电变压器 …… 40

第六节　变压器的温度控制 …… 42

一、油浸式变压器的温度控制 …… 42

二、干式变压器的温度控制 …… 43

第七节　配电变压器的室内安装 …… 45

一、配电变压器安装位置的选定 …… 45

二、配电变压器室的最小尺寸 …… 45
三、变压器室的高度与基础 …… 46
四、变压器的验收检查 …… 47
五、变压器安装的基本要求 …… 47
六、油浸式配电变压器的安装 …… 50
七、干式配电变压器的安装 …… 52
八、配电室电气进出线的安装 …… 60
第八节　配电变压器杆塔式安装 …… 67
一、杆塔式安装的基本要求 …… 67
二、S11-100/10 型配电变压器的安装 …… 68
三、S11-320/10 型配电变压器的安装 …… 69
第九节　配电变压器台墩式安装 …… 71
第十节　配电变压器落地式安装 …… 73
第十一节　配电变压器并联运行 …… 73
一、概述 …… 73
二、并联运行的条件 …… 73
三、并联运行前的试验 …… 73
四、并联运行负荷分担计算 …… 74
第十二节　配电变压器的运行维护 …… 75
一、新安装或大修后的配电变压器投运前的检查验收 …… 75
二、配电变压器的正常巡视检查 …… 76
三、配电变压器的特殊巡视检查 …… 76
四、干式配电变压器的运行检查 …… 77
五、配电变压器过负荷运行 …… 77
第十三节　配电变压器异常故障处理 …… 78
一、配电变压器出现强烈而不均匀的噪声且振动很大时的处理 …… 78
二、配电变压器过热时的处理 …… 78
三、配电变压器油位异常的原因及处理 …… 79
四、配电变压器油温升高的检查及处理 …… 79
五、配电变压器过负荷处理 …… 80
六、配电变压器气体继电器报警原因及处理 …… 80
七、配电变压器气体继电器动作原因及处理 …… 80
八、压力释放阀动作后的检查及处理 …… 81
九、冷却装置的故障处理 …… 82
十、配电变压器跳闸后的检查及处理 …… 82
十一、配电变压器的应急停运 …… 83
十二、配电变压器的着火处理 …… 83
十三、判断配电变压器故障的试验项目 …… 83
第十四节　配电变压器的检修 …… 84
一、检修周期 …… 84
二、变压器小修项目 …… 84
三、变压器大修项目 …… 85
四、竣工验收项目 …… 85
第十五节　配电变压器的电气试验 …… 86
一、配电变压器的电气试验项目 …… 86
二、配电变压器的常规电气试验方法 …… 86
第三章　低压电器 …… 89
第一节　刀开关 …… 89
一、概述 …… 89
二、技术参数 …… 89
三、刀开关的安装 …… 90
四、刀开关的运行与维护 …… 91
五、刀开关的常见故障及处理方法 …… 92
第二节　智能化断路器的特点及功能 …… 92
一、智能化断路器的特点 …… 92
二、智能控制器的基本功能 …… 93
第三节　DW15 系列万能式断路器 …… 93
一、概述 …… 93
二、技术参数 …… 94
三、结构原理 …… 94
第四节　Emax 系列智能化断路器 …… 97
一、概述 …… 97
二、技术参数 …… 99
三、Emax 系列断路器的安装 …… 102
四、Emax 系列断路器电子脱扣器的使用 …… 107
第五节　Tmax 系列塑料外壳式断路器 …… 113
一、概述 …… 113
二、技术参数 …… 114
三、PR222DS/PD 电子脱扣器 …… 114
四、电气控制接线 …… 118
五、外形结构及安装尺寸 …… 118
第六节　低压电器的选择 …… 123
一、低压电器选择的一般原则 …… 123

二、低压断路器的选择 …… 124
三、低压熔断器的选择 …… 125
第七节　低压断路器的运行维护及故障处理 …… 127
一、低压断路器的运行维护 …… 127
二、低压断路器的常见故障及处理 …… 128
第八节　交流接触器 …… 131
一、概述 …… 131
二、A 系列交流接触器 …… 131
三、B 系列交流接触器 …… 132
四、交流接触器的安装 …… 134
五、交流接触器的运行维护 …… 135
六、交流接触器的常见故障及处理方法 …… 136
第九节　剩余电流保护器 …… 137
一、概述 …… 137
二、技术参数 …… 138
三、剩余电流保护器的安装 …… 138
四、剩余电流保护器的运行维护 …… 140
第十节　低压熔断器 …… 140
一、概述 …… 140
二、技术参数 …… 140
三、熔断器的安装 …… 140
四、熔断器的运行维护 …… 142
五、熔断器的常见故障及处理 …… 142
第四章　高压电器 …… 144
第一节　隔离开关 …… 144
一、概述 …… 144
二、GN22-10 型户内隔离开关 …… 144
三、GW1-12 型户外隔离开关 …… 145
第二节　负荷开关 …… 147
一、FN16-12 系列负荷开关 …… 147
二、SF□型 SF_6 负荷开关 …… 148
三、LK-LBS 型负荷开关 …… 149
四、LK-GLBS 型负荷开关 …… 150
第三节　RL27 型 SF_6 柱上负荷开关 …… 151
一、概述 …… 151
二、技术参数 …… 151
三、主要特点 …… 152
四、主要功能 …… 152
五、外形结构及安装尺寸 …… 154
第四节　真空断路器 …… 155
一、概述 …… 155
二、真空断路器的结构 …… 155
三、真空灭弧室的结构及工作原理 …… 155
四、技术参数 …… 157
五、电气控制接线 …… 159
第五节　LN2-10 型 SF_6 断路器 …… 165
一、SF_6 断路器的特点 …… 165
二、技术参数 …… 165
三、LN2-10 型 SF_6 断路器的结构 …… 166
第六节　隔离开关操动机构 …… 166
一、CS9-G 型手力操动机构 …… 166
二、CJ2-XG 型电动操动机构 …… 168
第七节　断路器操动机构 …… 171
一、CD10 型电磁操动机构 …… 171
二、CT 系列弹簧储能操动机构 …… 173
第八节　隔离开关的运行维护 …… 178
一、隔离开关的操作 …… 178
二、隔离开关的巡视检查 …… 178
三、隔离开关的常见故障及处理 …… 179
第九节　真空断路器的运行维护及故障处理 …… 180
一、真空断路器正常运行时的检查 …… 180
二、真空断路器异常运行时的检查 …… 180
三、真空断路器的运行维护 …… 181
四、真空断路器的故障处理 …… 185
第十节　SF_6 断路器的运行维护及故障处理 …… 186
一、SF_6 断路器运行中的检查和维护 …… 186
二、SF_6 断路器的故障处理 …… 187
三、断路器自动分合闸故障的检查与处理 …… 188
四、断路器拒绝分合闸故障的检查与处理 …… 189
第十一节　操动机构的运行维护及异常故障处理 …… 189
一、操动机构的检查 …… 189
二、操动机构的运行维护 …… 190
三、操动机构的异常故障处理 …… 191
第十二节　电气设备倒闸操作 …… 191
一、倒闸操作设备状态 …… 191
二、电气设备运行状态之间倒换典型操作 …… 193
三、倒闸操作术语 …… 194

四、倒闸操作的一般规定 …… 194
五、倒闸操作的分类 …… 195
六、倒闸操作的基本要求 …… 195
七、倒闸操作的基本原则 …… 196
八、倒闸操作的基本步骤 …… 196
九、倒闸操作票的填写方法和填写项目 …… 198
十、倒闸操作举例 …… 199
第五章　低压成套配电装置 …… 201
第一节　配电柜的型号选择 …… 201
一、概述 …… 201
二、GGD 型低压固定式开关柜 …… 201
三、GBD 型低压固定分隔式开关柜 …… 201
四、MNS 型低压抽出式开关柜 …… 202
五、GCK 型低压抽出式开关柜 …… 203
六、GCS 型低压抽出式开关柜 …… 203
第二节　低压配电柜的安装 …… 204
一、安装尺寸 …… 204
二、安装前的准备工作 …… 210
三、安装工艺要求 …… 211
四、安装后的检查与验收 …… 212
第三节　低压配电装置的运行维护 …… 213
一、低压配电装置的送电及试运行 …… 213
二、低压配电装置运行的一般要求 …… 213
三、低压配电装置的巡视检查 …… 214
四、低压配电系统异常运行和故障缺陷的处理方法 …… 215
第六章　高压成套配电装置 …… 217
第一节　XGN15-12 型开关柜 …… 217
一、概述 …… 217
二、技术参数 …… 217
第二节　KYN28-12 系列开关柜 …… 218
一、概述 …… 218
二、技术参数 …… 219
三、开关柜结构 …… 221
四、电气主接线 …… 224
第三节　Safe 系列开关柜 …… 226
一、概述 …… 226
二、主要特点 …… 227
三、技术参数 …… 228
四、外形结构 …… 230
五、遥控、遥测及遥信单元功能 …… 230
六、变压器及线路继电保护 …… 233
七、电气主接线 …… 235
第四节　10kV 开关柜的安装及调试 …… 237
一、室内、外配电装置的最小电气安全净距
二、安装及调试的基本原则 …… 237
三、10kV 开关柜的安装尺寸及设备材料 …… 238
四、10kV 开关柜的安装基础 …… 246
五、10kV 开关柜的安装注意事项 …… 248
六、验收试验项目 …… 249
第五节　开关柜的运行操作 …… 249
一、开关柜的操作原则 …… 249
二、开关柜的机械联锁操作 …… 249
三、开关柜的具体操作程序 …… 250
四、开关柜操作注意事项 …… 251
第六节　开关柜的运行维护 …… 251
一、开关柜运行巡视和投运前检查 …… 251
二、维护与检修 …… 253
三、开关柜的常见故障及其排除方法 …… 253
第七章　箱式变电站 …… 255
第一节　ZGSBH16 型组合式变电站 …… 255
一、概述 …… 255
二、技术参数 …… 255
三、电气主接线 …… 256
四、外形结构及安装尺寸 …… 257
第二节　YB 型预装式变电站 …… 261
一、概述 …… 261
二、技术参数 …… 261
三、电气主接线 …… 263
四、外形结构及安装尺寸 …… 263
第三节　箱式变电站的运行维护 …… 265
一、投运前的检查 …… 265
二、投运操作步骤 …… 265
三、箱式变电站的维护与检修 …… 265
第八章　母线装置 …… 267
第一节　母线的选择 …… 267
一、母线材料的选择 …… 267
二、母线截面积的选择 …… 267
第二节　矩形母线的安装 …… 271
一、室内配电装置的安全净距 …… 271
二、母线颜色及相序排列 …… 272
三、母线的加工 …… 273

四、矩形母线的安装 …………………………… 276
五、低压成套开关柜母线的安装 ………… 277
六、母线槽的安装 ………………………………… 280
七、母线的验收和电气测试 ………………… 284
第三节 母线的运行维护 ………………………… 284
一、母线的正常运行 …………………………… 284
二、母线的巡视检查 …………………………… 285
三、母线的故障处理 …………………………… 285
四、母线的检修项目 …………………………… 286
第九章 无功功率补偿装置 ………………… 287
第一节 无功补偿的作用及基本原则 ……… 287
一、无功补偿的作用 …………………………… 287
二、无功补偿的基本原则 …………………… 287
第二节 无功功率补偿计算 …………………… 287
一、电容值计算 …………………………………… 287
二、电容器额定电流计算 …………………… 288
三、电容器额定容量计算 …………………… 289
四、按配电变压器的额定容量计算无功功率补偿容量 ……………………… 291
五、按提高功率因数计算无功功率补偿容量 ……………………………………… 291
六、按每千瓦有功负荷计算无功功率补偿容量 …………………………………… 291
七、补偿电容器台数计算 …………………… 292
八、补偿后增加的有功功率计算 ………… 293
九、电动机补偿容量的计算 ………………… 293
第三节 RVT 功率因数控制器…………………… 294
一、主要特点 ……………………………………… 294
二、主要功能 ……………………………………… 295
三、菜单浏览 ……………………………………… 296
四、RVT 的调试………………………………… 296
第四节 电容器的安装 …………………………… 296
一、电容器安装的基本要求 ………………… 296
二、WGK-31 系列无功功率补偿装置的安装接线 ……………………………… 297
三、RVT 型无功功率补偿装置的安装接线 ……………………………………… 300
第五节 电容器的运行维护 …………………… 300
一、新装电容器组投入运行前的检查 ………………………………………… 300
二、电容器组的运行操作 …………………… 300
三、电容器的巡视检查 ……………………… 301
四、电容器异常故障处理 …………………… 301
第十章 电力线路 ……………………………… 304
第一节 导线和电缆的选择 …………………… 304
一、按发热条件选择导线和电缆的截面积 ……………………………………… 304
二、按经济电流密度选择导线的截面积 ……………………………………… 305
三、按允许电压损失选择导线和电缆的截面积 ………………………………… 306
四、按机械强度选择导线的最小允许截面积 …………………………………… 310
五、电缆额定电压的选择 …………………… 310
第二节 架空绝缘电缆 …………………………… 311
一、概述 …………………………………………… 311
二、使用特性 ……………………………………… 311
三、电缆型号规格 ……………………………… 311
四、技术参数 ……………………………………… 312
第三节 交联聚乙烯绝缘电缆 ………………… 315
一、概述 …………………………………………… 315
二、电缆的型号及使用范围 ………………… 315
三、技术参数 ……………………………………… 316
第四节 架空线路的施工 ………………………… 321
一、杆位复测 ……………………………………… 321
二、挖坑 …………………………………………… 321
三、排杆 …………………………………………… 322
四、组杆 …………………………………………… 322
五、立杆 …………………………………………… 322
六、拉线及其安装 ……………………………… 322
七、放线 …………………………………………… 324
八、紧线 …………………………………………… 324
九、导线在绝缘子上的固定 ………………… 324
十、导线的连接 ………………………………… 325
第五节 架空绝缘线路的施工 ………………… 326
一、架空绝缘线路架设的一般原则 ……… 326
二、架空绝缘导线配电变压器的安装 ……………………………………………… 327
三、10kV 架空绝缘线路的安装 ………… 328
四、0.4kV 架空绝缘线路的安装 ………… 330
第六节 电缆的敷设 ……………………………… 332
一、电缆的敷设方式 …………………………… 332
二、电缆敷设的一般要求 …………………… 333
三、电缆沟的施工 ……………………………… 334
四、塑料电缆中间接头的制作 …………… 335
五、热缩型电缆中间接头的制作 ………… 337

六、热缩型电缆终端头的制作 …………… 338
七、冷缩型交联电缆头的制作 …………… 339
第七节　架空线路运行维护 ………………… 339
一、架空线路的巡视检查 ………………… 339
二、架空线路的运行维护 ………………… 339
三、架空线路运行维护时注意事项 ……… 340
四、线路故障处理 ………………………… 340
第八节　电缆的运行维护与试验 ………… 341
一、电缆的运行 …………………………… 341
二、电缆的维护 …………………………… 341
三、电缆的故障处理 ……………………… 342
四、电缆试验 ……………………………… 342
第十一章　电力测量仪表与电能计量装置 ……………………… 344
第一节　电力测量仪表 …………………… 344
一、电力测量仪表的选择 ………………… 344
二、安装接线 ……………………………… 344
第二节　电能计量原理 …………………… 346
一、单相有功电能表 ……………………… 346
二、三相三线有功电能表 ………………… 346
三、三相四线有功电能表 ………………… 347
四、无功电能表 …………………………… 347
五、电能表的电能计量 …………………… 349
第三节　电能表的选择 …………………… 349
一、电能表的选择原则 …………………… 349
二、单相电能表 …………………………… 349
三、三相电能表 …………………………… 350
第四节　电流互感器 ……………………… 354
一、电流互感器的结构原理 ……………… 354
二、电流互感器的选择 …………………… 355
三、电流互感器的安装 …………………… 356
四、电流互感器的运行维护 ……………… 358
第五节　电压互感器 ……………………… 359
一、电压互感器的结构原理 ……………… 359
二、电压互感器的选择 …………………… 359
三、电压互感器的安装 …………………… 360
四、电压互感器的运行维护 ……………… 362
第六节　电能计量装置的配置 …………… 363
一、电能计量装置的配置原则 …………… 363
二、电能计量装置的配置 ………………… 363
三、电力负荷管理终端 …………………… 364
第七节　电能计量装置的安装 …………… 366
一、电能计量与控制二次回路 …………… 366
二、电能表的安装工艺 …………………… 370
第八节　电能计量装置的接线检查 ……… 375
一、单相电能表的接线检查 ……………… 375
二、三相电能表的接线检查 ……………… 376
三、电能计量装置的断线检查 …………… 378
四、互感器极性接反检查 ………………… 380
五、电能表准确度的现场测试 …………… 383
第九节　电能计量装置的运行维护 ……… 383
一、电能表的电量抄录与使用 …………… 383
二、电能表的常见故障与处理 …………… 388
第十节　电能电费的计算 ………………… 389
一、电能电费的计算原则 ………………… 389
二、线损率的计算 ………………………… 390
三、线路电能损耗的计算 ………………… 390
四、配电变压器电能损耗的计算 ………… 390
五、功率因数考核电费调整的计算 ……… 392
六、追补电能的计算 ……………………… 395
第十二章　二次回路 ……………………… 397
第一节　二次回路的含义及分类 ………… 397
一、二次回路的含义 ……………………… 397
二、二次回路的分类 ……………………… 397
第二节　断路器控制回路 ………………… 398
一、LW2 控制开关 ………………………… 398
二、电磁操动机构断路器的控制回路 ……………………………………… 398
三、弹簧操动机构断路器的控制回路 ……………………………………… 401
第三节　信号回路 ………………………… 402
一、断路器位置及状态指示信号 ………… 402
二、事故信号 ……………………………… 402
三、预告信号 ……………………………… 403
四、闪光信号装置 ………………………… 404
五、微机监控保护装置的信号功能 ……… 405
第四节　直流回路 ………………………… 406
一、蓄电池组直流操作电源 ……………… 406
二、硅整流电容储能直流系统 …………… 407
第五节　直流系统的绝缘检测 …………… 408
一、概述 …………………………………… 408
二、直流绝缘检测原理 …………………… 408
三、由继电器构成的绝缘检测装置 ……… 408
第六节　二次回路的安装接线 …………… 409
一、安装接线的基本要求 ………………… 409
二、屏背面的展开图 ……………………… 410

三、二次设备在安装接线图上的表示方法 …… 411
四、安装接线图中的标号 …… 411
五、接线端子 …… 412
六、“相对编号法”在安装接线图上的应用 …… 415
第七节　二次回路的故障处理 …… 417
一、二次设备的常见故障 …… 417
二、二次回路的一般故障处理原则 …… 417
三、二次回路查找故障的一般步骤 …… 418
四、二次交流电压回路断线 …… 418
五、直流系统接地处理 …… 418
第十三章　微机保护装置 …… 421
第一节　微机保护在配电网中的应用 …… 421
一、微机保护监控装置的优点 …… 421
二、微机保护监控系统的原理 …… 421
三、微机监控系统的功能 …… 421
四、利用微处理器改进配电所的测量和信号系统 …… 423
第二节　配电所电气设备继电保护装置的配置 …… 424
一、配电变压器继电保护的类型 …… 424
二、配电所电气设备微机保护的配置 …… 426
三、10kV 配电线路的保护 …… 429
第三节　10kV 配电线路继电保护整定计算 …… 430
一、无时限电流速断保护 …… 430
二、带时限电流速断保护 …… 430
三、过电流保护 …… 431
第四节　配电变压器继电保护整定计算 …… 434
一、电流速断保护 …… 434
二、过电流保护 …… 435
三、过负荷保护 …… 435
四、零序电流保护 …… 436
五、温度保护 …… 436
第五节　智能化配电元件（IPD） …… 438
一、概述 …… 438
二、人机界面（HMI） …… 439
三、RTU 监测与控制 …… 439
第六节　RCS-9612AⅡ型微机线路保护测控装置 …… 442
一、概述 …… 442
二、主要保护功能 …… 442
三、主要测控功能 …… 443
四、技术参数 …… 443
五、保护测控功能原理 …… 443
六、安装接线 …… 445
七、装置定值整定 …… 447
第七节　RCS-9621A 型配电变压器保护测控装置 …… 450
一、概述 …… 450
二、主要保护功能 …… 450
三、主要测控功能 …… 451
四、技术参数 …… 451
五、保护测控功能原理 …… 451
六、安装接线 …… 454
七、装置定值整定 …… 457
第八节　RCS-9000 保护测控装置的操作 …… 460
一、液晶显示 …… 460
二、命令菜单 …… 460
第九节　DMR201P/301P 型微机保护装置 …… 465
一、主要特点 …… 465
二、主要功能 …… 465
三、技术参数 …… 466
四、安装接线 …… 467
第十节　零序电流保护 …… 471
一、10kV 线路零序电流保护 …… 471
二、0.4kV 低压线路零序电流保护 …… 475
第十一节　备用电源自投装置 …… 481
一、NSP-642 型数字式备用电源自投装置 …… 481
二、DPT/TE 双电源自动切换装置 …… 483
第十二节　微机保护的运行维护 …… 485
一、投运前的注意事项 …… 485
二、装置操作 …… 485
三、运行后的注意事项 …… 486
四、运行维护时的注意事项 …… 486
五、保护测控装置异常故障处理 …… 486
第十四章　防雷与接地装置 …… 488
第一节　防雷装置 …… 488
一、防直击雷装置 …… 488
二、防感应雷装置 …… 489

第二节　接地装置 …… 490
一、接地的种类 …… 490
二、接地电阻 …… 491
三、接地体与保护接地线 …… 492
四、接地电阻的计算 …… 493
五、接地装置的安装 …… 494
六、土壤电阻率的测量 …… 495
七、测定接地电阻值 …… 496
第三节　防雷接地装置的运行维护 …… 500
一、防雷装置的运行维护 …… 500
二、接地装置的安全要求 …… 500
三、接地装置的运行维护 …… 501
参考文献 …… 503

第一章　电工常用电气计算

第一节　直 流 电 路

一、欧姆定律

在恒定电流的电路中，用欧姆定律表示电流、电压、电阻三者的关系，电路中的电流与电压成正比，与电阻成反比。图 1-1 所示的电流、电压、电阻之间关系可用式（1-1）表示。

$$\left.\begin{aligned} I &= \frac{U}{R} \\ U &= IR \\ R &= \frac{U}{I} \end{aligned}\right\} \tag{1-1}$$

式中，I 为电流，单位为 A；U 为电压，单位为 V；R 为电阻，单位为 Ω。

二、串联电路

电阻串联电路如图 1-2 所示。串联电路中电压、电流、电阻之间关系见式（1-2）。

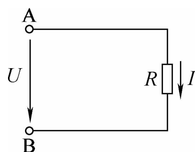


图 1-1　欧姆定律

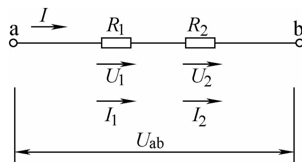


图 1-2　串联电路

$$\left.\begin{aligned} U_1 &= I_1 R_1 \\ U_2 &= I_2 R_2 \\ U_{ab} &= U_1 + U_2 \\ I &= I_1 = I_2 \\ R_{ab} &= R_1 + R_2 \end{aligned}\right\} \tag{1-2}$$

式中，R_1、R_2 为电阻，单位为 Ω；R_{ab}为串联电路的总电阻，单位为 Ω；I_1、I_2 为通过电阻 R_1、R_2 的电流，单位为 A；I 为通过串联电路的电流，单位为 A；U_1、U_2 为电阻 R_1、R_2 上的电压，单位为 V；U_{ab}为串联电路电源总电压，单位为 V。

三、并联电路

电阻并联电路如图 1-3 所示。并联电路中，电压、电流、电阻之间关系见式（1-3）。

$$\left.\begin{aligned}U_1&=I_1R_1\\U_2&=I_2R_2\\U_{ab}&=U_1=U_2\\I&=I_1+I_2\\\frac{1}{R_{ab}}&=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\end{aligned}\right\}\tag{1-3}$$

式中，R_{ab}为并联电路的总电阻，单位为Ω；U_{ab}为并联电路电源总电压，单位为V。

其余符号含义同式（1-2）。

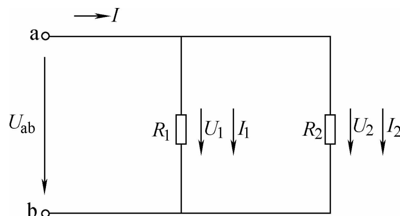


图1-3　并联电路

四、电功率与电能

1. 电功率

电流在单位时间内所做的功称作电功率，用符号P表示，单位为瓦［特］（W）。用公式表示为

$$P=UI\tag{1-4}$$

式中，P为电功率，单位为W；U为负荷（也称为负载）端电压，单位为V；I为负荷电流，单位为A。

实际工作中，电功率的常用单位除了瓦［特］外，还有千瓦（kW）、兆瓦（MW），其换算关系为

$$1\text{kW}=10^3\text{W}，1\text{MW}=10^3\text{kW}$$

电阻R消耗的功率

$$P=UI=U\frac{U}{R}=\frac{U^2}{R}=I^2R\tag{1-5}$$

由上式可知，当I一定时，电功率P和电阻R成正比；当电压U一定时，电功率P和电阻R成反比。

2. 电能

电流在一段时间t内，电路消耗（或电源提供）的电功率P称为该电路的电能，符号用W表示。

$$W=Pt\tag{1-6}$$

式中，W为电能，单位为W·h或kW·h；t为时间，单位为h。

以1kW的电功率使用1小时（h），电能单位为千瓦小时；即俗称1度电＝1kW·h。

由式（1-6）可得

$$P=\frac{W}{t}\tag{1-7}$$

在实际运算中，有时会遇到下列非法定单位的换算：

1hp（英马力）＝736W＝0.736kW

第二节　单相交流电路

一、瞬时值和最大值

单相交流电的电压、电流、电动势等的大小和方向均是按正弦波形状周期性地变化的。

交流电在某一时刻的大小值，称为交流电的瞬时值。瞬时值一般用小写字母 e、u、i 来表示。

最大的瞬时值称为最大值，最大值也称为振幅或峰值。最大值常用符号 E_m、U_m、I_m 表示。

二、周期、频率与角频率

交流电每循环一次所需要的时间叫周期。周期用符号 T 来表示，单位是秒（s）。

频率是指 1s 内交流电重复变化的次数，用字母 f 表示，单位是赫［兹］（Hz）。周期和频率互为倒数，即

$$f=\frac{1}{T} \tag{1-8}$$

在 $e=E_m\sin\omega t$ 这个式子中，ω 通常称为角频率，单位是弧度/秒（rad/s）交流电变化一个周期 T，其角度 $\omega T=2\pi$，因此角频率与周期的关系为

$$\omega=\frac{2\pi}{T}=2\pi f \tag{1-9}$$

三、正弦交流电的有效值

一个交流电通过一个电阻在一个周期时间内所产生的热量和某一直流电通过同一电阻在相同的时间内产生的热量相等，这个直流电的量值就称为交流电的有效值。电工仪表测量到的数值为交流电的有效值。

正弦交流电的有效值等于交流电的电流、电压、电动势最大值 I_m、U_m、E_m 的 $1/\sqrt{2}$，即

$$\left.\begin{aligned}I&=\frac{I_m}{\sqrt{2}}=0.707I_m \text{ 或 } I_m=\sqrt{2}I\\U&=\frac{U_m}{\sqrt{2}}=0.707U_m \text{ 或 } U_m=\sqrt{2}U\\E&=\frac{E_m}{\sqrt{2}}=0.707E_m \text{ 或 } E_m=\sqrt{2}E\end{aligned}\right\} \tag{1-10}$$

四、交流电的电阻、电感、电容的计算

单相交流电路电气元件连接如图 1-4 所示。

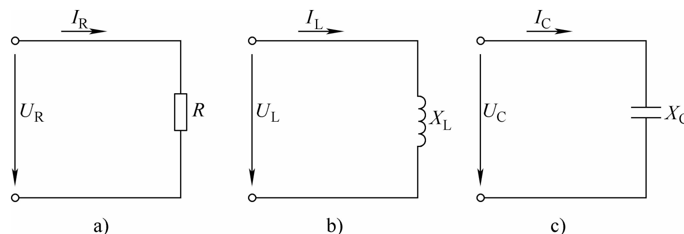


图 1-4　单相交流电路

a）电阻电路　b）电感电路　c）电容电路

1. 电阻电路

单相交流电的电阻电路按式（1-11）计算，即

$$\left.\begin{aligned}U_R&=IR\\I_R&=\frac{U_R}{R}\\R&=\frac{U_R}{I_R}\end{aligned}\right\}\tag{1-11}$$

式中，U_R 为电源电压，单位为 V；I_R 为电阻电流，单位为 A；R 为电阻元件电阻，单位为 Ω。

2. 电感电路

单相交流电的电感电路按式（1-12）计算，即

$$\left.\begin{aligned}X_L&=\omega L=2\pi fL\\U_L&=I_LX_L=I_L\omega L\\I_L&=\frac{U_L}{X_L}=\frac{U_L}{2\pi fL}\end{aligned}\right\}\tag{1-12}$$

式中，X_L 为电抗，单位为 Ω；ω 为角频率，为 $2\pi f$；f 为频率，50Hz；L 为线圈电感，单位为 H；I_L 为通过电感元件的电流，单位为 A；U_L 为电感元件的电压，单位为 V。

3. 电容电路

单相交流电的电容电路按式（1-13）计算，即

$$\left.\begin{aligned}X_C&=\frac{1}{\omega C}=\frac{1}{2\pi fC}\\U_C&=I_CX_C=I_C\frac{1}{2\pi fC}\\I_C&=\frac{U_C}{X_C}=2\pi fCU_C\end{aligned}\right\}\tag{1-13}$$

式中，X_C 为容抗，单位为 Ω；ω 为角频率；f 为频率，50Hz；C 为电容量，单位为 F，$1F=10^6\mu F$；I_C 为电容电流，单位为 A；U_C 为电容电压，单位为 V。

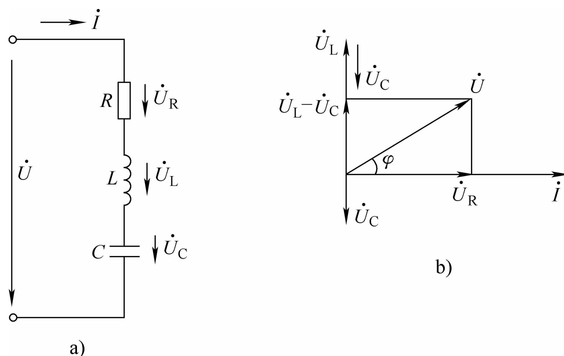


图 1-5　电阻、电感、电容串联电路

a）电路　b）相量图

4. 电阻、电感、电容串联电路

电阻、电感、电容串联电路如图 1-5 所示。

由于 $\dot{U}_L$ 与 $\dot{U}_C$ 方向相反，$\dot{U}$ 的大小可以用勾股定理求得，即

$$U=\sqrt{(U_R)^2+(U_L-U_C)^2}=\sqrt{(RI)^2+(X_LI-X_CI)^2}=I\sqrt{R^2+X^2}=IZ\tag{1-14}$$

$$Z=\frac{U}{I}=\sqrt{R^2+X^2}=\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}\tag{1-15}$$

$$I=\frac{U}{Z}=\frac{U}{\sqrt{R^2+X^2}}=\frac{U}{\sqrt{R^2+(X_L-X_C)^2}}\tag{1-16}$$

式中，Z 为阻抗，单位为 Ω；R 为电阻，单位为 Ω；X_L 为电抗，单位为 Ω；X_C 为容抗，单位为 Ω；U 为交流电压，单位为 V；U_R 为电阻电压，单位为 V；U_L 为电感电压，单位为 V；U_C 为电容电压，单位为 V；I 为回路电流，单位为 A。

从图 1-5 中可知，电压超前电流，称此电路为感性电路。若相反，此时称为容性电路，其电压电流的相位差

$$\varphi = \arctan\frac{U_L - U_C}{U_R} = \arctan\frac{X_L - X_C}{R} = \arctan\frac{X}{R} \tag{1-17}$$

五、交流电路的功率和功率因数

1. 有功功率

单相交流电的有功功率按式（1-18）计算，即

$$P = UI\cos\varphi \tag{1-18}$$

式中，P 为有功功率，单位为 kW；U 为电压有效值，单位为 kV；I 为电流有效值，单位为 A；$\cos\varphi$ 为功率因数。

2. 无功功率

对于储能元件或设备，如线圈等储存电能，而不消耗功率，称为无功功率，其值按式（1-19）计算，即

$$Q = UI\sin\varphi \tag{1-19}$$

式中，Q 为无功功率，单位为 kvar；U 为电压有效值，单位为 kV；I 为电流有效值，单位为 A；$\sin\varphi$ 为功率因数角 φ 的正弦值。

3. 视在功率

在单相交流电路中，电压有效值与电流有效值的乘积，称为视在功率，其值按式（1-20）计算，即

$$S = UI \tag{1-20}$$

式中，S 为视在功率，单位为 kV · A；U 为电压有效值，单位为 kV；I 为电流有效值，单位为 A。

4. 功率因数

在单相交流电路中，有功功率与视在功率之比，称为功率因数，其值按式（1-21）计算，即

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{UI} \tag{1-21}$$

在单相交流电路中，视在功率、有功功率、无功功率、功率因数角之间相量关系如图 1-6 所示。

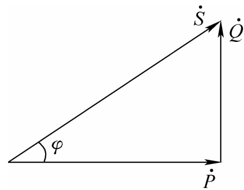


图 1-6　视在功率、有功功率、无功功率相量图

第三节　三相交流电路

由三相交流电源和三相负荷组成的电路，叫三相交流电路。三相交流电源是由三个最大值相等、频率相同、相互的相位差为 120°的电动势作为供电的体系。

在 10/0. 4kV 的配电系统中，采用三相交流电传输功率。

一、三相对称交流电动势表示方法

三相电动势可由三相发电机提供，三相电动势的瞬时表达式为

$$\left.\begin{aligned} e_{\mathrm{U}} &= E_{\mathrm{m}}\sin\omega t \\ e_{\mathrm{V}} &= E_{\mathrm{m}}\sin(\omega t - 120°) \\ e_{\mathrm{W}} &= E_{\mathrm{m}}\sin(\omega t + 120°) \end{aligned}\right\} \tag{1-22}$$

电动势的波形如图 1-7a 所示，若以 $\dot{E}$ 为基准，可以画出三相电动势的相量图如图 1-7b 所示。从相量图上可知，对称三相交流电动势之和为零，对于对称三相电流也成立。

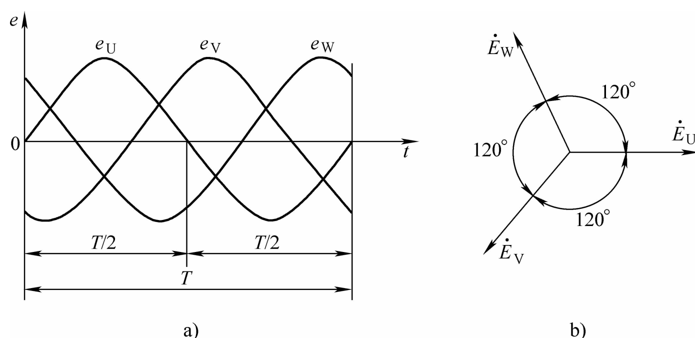


图 1-7 三相对称交流电动势的波形、相量图

a）波形 b）相量图

三相电动势到达最大值的先后次序叫做相序。在图 1-7 中，最先到达最大值的是 e_U，其次是 e_V，再次是 e_W，相序就是 U—V—W—U，称为正序。若最大值出现的次序为 U—W—V—U，恰恰与正序相反，则称为负序或逆序。

二、三相电路的联结

1. 星形（Y）联结

（1）三相三线制交流电路

将三个产生三相电压电源的一端作为公共端，再由另一端引出线与负荷相连，称为星形联结或Y联结，其公共点 N 称为中性点（或称为零点）。每相绕组两端的电压称为相电压，用 $\dot{U}_U$、$\dot{U}_V$、$\dot{U}_W$ 表示。在有中性线（或称为零线）时，相电压就是各相线与中性线之间的电压。两根相线之间的电压称为线电压，用 $\dot{U}_{UV}$、$\dot{U}_{VW}$、$\dot{U}_{WU}$ 表示。

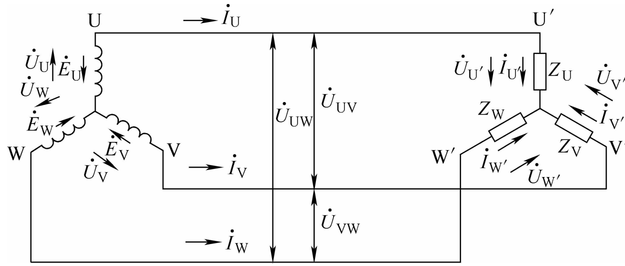


图 1-8 三相三线制交流电路星形（Y）联结

三相三线制交流电路星形（Y）联结如图 1-8 所示。

三相三线制交流电路星形（Y）联结时，线电压与相电压，线电流与相电流之间关系为

$$\left.\begin{aligned}U_L=U_{UV}=U_{VW}=U_{UW}=\sqrt{3}U_U=\sqrt{3}U_V=\sqrt{3}U_W=\sqrt{3}U_{ph}\\ I_L=I_U=I_V=I_W=I_{U'}=I_{V'}=I_{W'}=I_{ph}\end{aligned}\right\}\qquad(1\text{-}23)$$

式中，U_L 为线电压，单位为 kV；U_{ph}为相电压，单位为 kV；I_L 为线电流，单位为 A；I_{ph}为相电流，单位为 A。

（2）三相四线制交流电路

三相四线制交流电路星形（Y）联结如图 1-9 所示。

三相四线制交流电路中线电压与相电压、线电流与相电流、中性线电流之间关系为

$$\left.\begin{aligned} U_{L} &= \sqrt{3}U_{ph} \\ I_{L} &= I_{ph} \\ I_{N} &= I_{LU} + I_{LV} + I_{LW} \end{aligned}\right\} \quad (1\text{-}24)$$

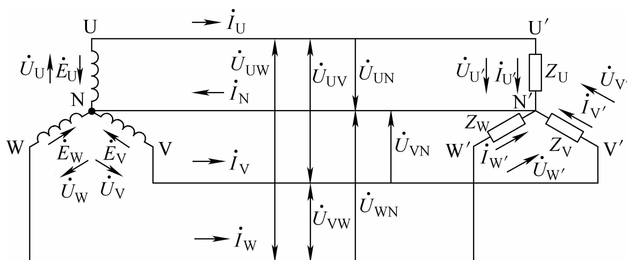


图 1-9　三相四线制交流电路星形（Y）联结

式中，U_L 为线电压，单位为 kV；U_{ph}为相电压，单位为 kV；I_L、I_{LU}、I_{LV}、I_{LW}为线电流，单位为 A；I_N为中性线电流，单位为 A。

2. 三角形（△）联结

三相三线制交流电路三角形（△）联结如图 1-10 所示。

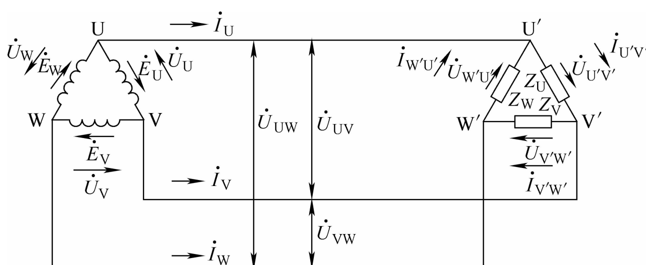


图 1-10　三相三线制交流电路三角形（△）联结

三相三线制交流电路三角形（△）联结时，线电压与相电压、线电流与相电流之间关系为

$$\left.\begin{aligned} U_{L} &= U_{ph} \\ I_{L} &= \sqrt{3}I_{ph} \end{aligned}\right\} \quad (1\text{-}25)$$

式中，U_L 为线电压，单位为 kV；U_{ph}为相电压，单位为 kV；I_L 为线电流，单位为 A；I_{ph}为相电流，单位为 A。

三、三相交流电路的功率及功率因数

三相交流电路的视在功率按式（1-26）计算，即

$$S = \sqrt{3}U_{L}I_{L} \quad (1\text{-}26)$$

式中，S 为视在功率，单位为 kV·A；U_L 为线电压，单位为 kV；I_L 为线电流，单位为 A。

三相交流电有功功率按式（1-27）计算，即

$$\left.\begin{aligned} P_{L} &= 3U_{ph}I_{ph}\cos\varphi \\ P_{L} &= S\cos\varphi = \sqrt{3}U_{L}I_{L}\cos\varphi \end{aligned}\right\} \quad (1\text{-}27)$$

式中，P_L 为有功功率，单位为 kW；S 为视在功率，单位为 kV·A；U_L 为线电压，单位为 kV；U_{ph}为相电压，单位为 kV；I_L 为线电流，单位为 A；I_{ph}为相电流，单位为 A；$\cos\varphi$ 为功率因数。

三相交流电路无功功率按式（1-28）计算，即

$$Q = S\sin\varphi = \sqrt{3}U_{L}I_{L}\sin\varphi \quad (1\text{-}28)$$

式中，Q 为无功功率，单位为 kvar；S 为视在功率，单位为 kV·A；U_L 为线电压，单位为 kV；I_L 为线电流，单位为 A；$\sin\varphi$ 为功率因数角 φ 的正弦函数。

三相交流电功率因数按式（1-29）计算，即

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (1\text{-}29)$$

式中，$\cos\varphi$ 为三相负荷功率因数；P 为三相有功功率，单位为 kW；S 为三相视在功率，单位为 kV·A。

第四节　短路电流的含义及计算原则

一、短路电流的含义

电力系统中可能发生的短路故障，主要有三相短路、两相短路和单相短路。一般情况下，三相短路电流都大于两相和单相短路电流。

在计算短路电流时，通常把电力系统的电源容量视为无穷大。在这样的系统内，当某处发生短路时，电源电压维持不变，即短路电流周期分量在整个短路过程中不衰减。电网三相短路电流变化曲线如图 1-11 所示。

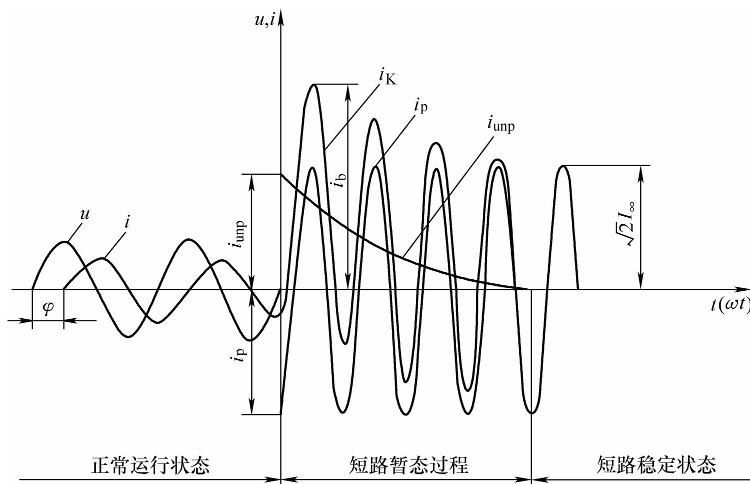


图 1-11　电网三相短路电流变化曲线

为了选择和校验电气设备、载流导体，一般应计算下列短路电流值，即

I_K——短路电流周期分量有效值，单位为 kA；

I_∞——稳态短路电流有效值，单位为 kA；

i_b——短路全电流最大瞬时冲击值，单位为 kA；

I_b——短路全电流最大有效值，单位为 kA；

S_K——短路容量，单位为 MV · A。

二、短路电流计算的一般原则

1）计算短路电流用于验算电器和导体的开断电流、动稳定和热稳定时，应按工程的设计规划内容计算。一般应以最大运行方式下的三相短路电流为依据，如配电所一般应以 2 台或 3 台配电变压器（简称主变）容量计算，并适当考虑电网 5 ~ 10 年的远景发展规划进行计算。

2）计算短路电流时，应按可能发生最大短路电流的正常联结方式进行计算。短路点应选择在短路电流为最大的地点。

3）导体和电器的动稳定、热稳定以及电器的开断电流，一般按三相短路电流验算。

4）计算 10kV 及以上高压电网短路电流时，一般将元件的电阻略去不计，如果短路电路中总电阻 ΣR 大于总电抗 ΣX 的 1/3 时，则线路和其他元件的有效电阻仍应计入。

5）计算 1000V 以下低压电网短路电流时，一般不允许忽略短路回路中电气设备的电阻值，如配电变压器的电阻、低压线路的电阻、不太长的母线和电缆、电流互感器的一次绕组、低压断路器的过电流线圈及低压断路器和隔离开关触头的接触电阻等，因为这些电阻对低压短路电流都有影响。

6）计算某一电压级的短路电流时，应用平均电压。

7）计算高压系统短路电流时，一般采用标幺值方法、短路功率法进行计算。计算 1000V 以下低压配电网的短路电流时，一般采用有名值方法计算，即电压的单位为 V，电流的单位为 kA，电阻的单位为 mΩ。

第五节　短路回路各元件阻抗的计算

一、10kV 系统电抗的计算

10kV 电力系统电抗可按式（1-30）计算，即

$$X_S = \frac{U_N^2}{S_K} \times 10^3 \tag{1-30}$$

式中，X_S 为系统电抗，单位为 mΩ；U_N 为额定电压，单位为 kV，10kV 时取 $U_N = U_{av} = 10.5$kV，0.38kV 时取 $U_N = U_{av} = 0.4$kV；S_K 为短路容量，单位为 MV·A。

电源变电所 10kV 母线侧短路电流一般都控制在 16～20kA 之间，则短路容量为 277～346MV·A，或根据各地电网的实际状况，到有关供电单位查取。

二、配电变压器阻抗的计算

配电变压器的阻抗可按式（1-31）计算，即

$$Z_T = \frac{u_K\% U_N^2}{100 S_N} \times 10^6 \tag{1-31}$$

式中，Z_T 为配电变压器的阻抗，单位为 mΩ；$u_K\%$ 为配电变压器的阻抗电压百分比，取 u_K 值；U_N 为配电变压器的额定电压，单位为 kV；S_N 为配电变压器的额定容量，单位为 kV·A。

配电变压器的电阻可按式（1-32）计算，即

$$R_T = \frac{\Delta P_K U_N^2}{S_N^2} \times 10^6 \tag{1-32}$$

式中，R_T 为配电变压器的电阻，单位为 mΩ；ΔP_K 为配电变压器的负荷损耗，单位为 kW。

配电变压器的电抗（mΩ）可按式（1-33）计算，即

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \tag{1-33}$$

【例 1-1】　一台 S11—2500/10 型配电变压器，额定电压 $U_{N1} = 10$kV，$U_{N2} = 0.4$kV，额定容量 $S_N = 2500$kV·A，阻抗电压 $u_K\% = 5.0\%$，负荷损耗 $\Delta P_K = 19.70$kW，试计算该配电变压器的阻抗、电阻、电抗。

解： 配电变压器的阻抗按式（1-31）计算，得

$$Z_T = \frac{u_K\% U_{N2}^2}{100 S_N} \times 10^6 = \frac{5.0 \times 0.4^2}{100 \times 2500} \times 10^6 \text{m}\Omega = 3.20 \text{m}\Omega$$

配电变压器的电阻按式（1-32）计算，得

$$R_{T}=\frac{\Delta P_{K}U_{N2}^{2}}{S_{N}^{2}}\times10^{6}=\frac{19.70\times0.4^{2}}{2500^{2}}\times10^{6}\text{m}\Omega=0.50\text{m}\Omega$$

配电变压器的电抗按式（1-33）计算，得

$$X_{T}=\sqrt{Z_{T}^{2}-R_{T}^{2}}=\sqrt{3.20^{2}-0.50^{2}}\text{m}\Omega=3.16\text{m}\Omega$$

按照［例 1-1］的计算方法，将常用型号的配电变压器的电阻、电抗、阻抗经计算后，其值见表 1-1 ~ 表 1-3 供读者选用时参考。

表 1-1　10/0.4kV 级 S11 系列配电变压器的电阻、电抗、阻抗

额定容量 S_N/kV·A	阻抗电压 u_K（%）	负荷损耗 ΔP_K/kW	电阻 R_T/mΩ	电抗 X_T/mΩ	阻抗 Z_T/mΩ
30	4	0.57	101.33	187.73	213.33
50	4	0.83	53.12	116.46	128.00
63	4	0.99	39.91	93.42	101.59
80	4	1.19	29.75	74.26	80.00
100	4	1.42	22.72	59.83	64.00
125	4	1.71	17.51	48.11	51.20
160	4	2.09	13.06	37.81	40.00
200	4	2.47	9.88	30.44	32.00
250	4	2.90	7.42	24.50	25.60
315	4	3.47	5.60	19.53	20.32
400	4	4.09	4.09	15.47	16.00
500	4	4.90	3.14	12.41	12.80
630	4.5	5.89	2.37	11.18	11.43
800	4.5	7.10	1.78	8.82	9.00
1000	4.5	9.78	1.56	7.03	7.20
1250	4.5	11.40	1.17	5.64	5.76
1600	4.5	13.70	0.86	4.42	4.50
2000	5	16.80	0.67	3.94	4.00
2500	5	19.70	0.50	3.16	3.20

表 1-2　10kV 级 SBH11-M 系列配电变压器的电阻、电抗、阻抗

额定容量 S_N/kV·A	阻抗电压 u_K（%）	负荷损耗 ΔP_K/kW	电阻 R_T/mΩ	电抗 X_T/mΩ	阻抗 Z_T/mΩ
30	4	0.60	106.67	184.75	213.33
50	4	0.87	55.68	115.26	128.00
63	4	1.04	41.92	92.54	101.59
80	4	1.25	31.25	73.64	80.00
100	4	1.50	24.00	59.33	64.00
125	4	1.80	18.43	47.77	51.20
160	4	2.20	13.75	37.56	40.00
200	4	2.60	10.40	30.26	32.00
250	4	3.05	7.81	24.40	25.60
315	4	3.65	5.89	19.45	20.32

（续）

额定容量 S_N/kV·A	阻抗电压 u_K（%）	负荷损耗 ΔP_K/kW	电阻 R_T/mΩ	电抗 X_T/mΩ	阻抗 Z_T/mΩ
400	4	4.30	4.30	15.41	16.00
500	4	3.15	3.30	12.37	12.80
630	4.5	6.20	2.50	11.15	11.43
800	4.5	7.50	1.88	8.80	9.00
1000	4.5	10.30	1.47	7.05	7.20
1250	4.5	12.00	1.23	5.63	5.76
1600	4.5	14.50	0.91	4.41	4.50
2000	5	17.40	0.70	3.94	4.00
2500	5	20.20	0.52	3.16	3.20

表 1-3　10/0.4kV 级 SC10 系列干式配电变压器的电阻、电抗、阻抗

额定容量 S_N/kV·A	阻抗电压 u_K（%）	负荷损耗 ΔP_K/kW	电阻 R_T/mΩ	电抗 X_T/mΩ	阻抗 Z_T/mΩ
30	4	0.61	108.44	183.72	213.33
50	4	0.85	54.40	115.86	128.00
80	4	1.20	30.00	74.16	80.00
100	4	1.37	21.92	60.13	64.00
125	4	1.60	16.38	48.51	51.20
160	4	1.85	11.56	38.30	40.00
200	4	2.20	8.80	30.77	32.00
250	4	2.40	6.14	24.85	25.60
315	4	3.02	4.87	19.73	20.32
400	4	3.48	3.48	15.62	16.00
500	4	4.26	2.73	12.51	12.80
630	4	5.12	2.06	9.95	10.16
630	6	5.19	2.09	15.10	15.24
800	6	6.07	1.52	11.90	12.00
1000	6	7.09	1.13	9.53	9.60
1250	6	8.46	0.87	7.63	7.68
1600	6	10.20	0.64	5.97	6.00
2000	6	12.60	0.50	4.77	4.80
2500	6	15.00	0.38	3.82	3.84

三、配电变压器零序阻抗的计算

1. Dyn11 联结组标号

配电变压器高压绕组三角形（D）联结时，绕组内可通过零序循环感应电流，因而可与低压绕组零序电流相互平衡去磁。因此，低压侧零序阻抗很小。配电变压器零序电阻按式（1-34）近似计算，即

$$R_{T0}=KR_T \tag{1-34}$$

式中，R_{T0}为配电变压器零序电阻，单位为 mΩ；K 为系数，一般取 0.5；R_T 为配电变压器电阻，单位为 mΩ。

配电变压器零序电抗按式（1-35）计算，即

$$X_{T0}=Ku_K\%\frac{U_{ph}}{I_{ph}}\times10^3 \quad (1\text{-}35)$$

式中，X_{T0}为配电变压器零序电抗，单位为 mΩ；K 为系数，取 0.9～1，容量较小（50kV · A）时取小值，容量较大（2500kV · A）时取大值；$u_K\%$ 为阻抗电压百分数；U_{ph}为相电压，230V；I_{ph}为相电流，单位为 A。

【例 1-2】 SBH11-M-1250/10 型配电变压器，额定电压 $U_{N1}/U_{N2}=10/0.4$kV，额定容量 $S_N=1250$kV · A，阻抗电压 $u_K\%=4.5\%$，绕组联结组标号为 Dyn11。试计算该变压器的零序阻抗。

解： 查表 1-2 得 SBH11-M-1250/10 型变压器电阻 $R_T=1.23$mΩ。配电变压器零序电阻按式（1-34）计算，即

$$R_{T0}=KR_T=0.5\times1.23\text{m}\Omega=0.615\text{m}\Omega$$

配电变压器低压侧相电流按式（2-6）计算，得

$$I_{ph\cdot2}=I_{N2}=\frac{S_N}{\sqrt{3}U_{N2}}=\frac{1250}{\sqrt{3}\times0.4}\text{A}=1804\text{A}$$

配电变压器零序电抗按式（1-35）计算，即

$$X_{T0}=Ku_K\%\frac{U_{ph}}{I_{ph\cdot2}}\times10^3=1\times4.5\%\times\frac{230}{1804}\times10^3\text{m}\Omega=5.74\text{m}\Omega$$

2. Yyn0 联结组标号

配电变压器高压绕组星形（Y）联结时，绕组不能流过零序电流，低压侧 Yn 联结励磁时，由零序电流产生的零序磁通一部分经过空气形成回路，磁阻较大，零序磁通较小，所以零序阻抗较小，零序电阻按式（1-36）计算，即

$$R_{T0}=K\frac{U_{ph}}{I_N}\times10^3 \quad (1\text{-}36)$$

式中，R_{T0}为配电变压器零序电阻，单位为 mΩ；U_{ph}为配电变压器低压侧额定相电压，单位为 V；I_N 为配电变压器低压侧额定相电流，单位为 A；K 为系数，取 0.5。

零序电抗按式（1-37）计算，即

$$X_{T0}=K\frac{U_{ph}}{I_N}\times10^3 \quad (1\text{-}37)$$

式中，X_{T0}为配电变压器零序电抗，单位为 mΩ；U_{ph}为配电变压器低压侧额定相电压，单位为 V；I_N 为配电变压器低压侧额定相电流，单位为 A；K 为系数，一般取值范围为 0.3～0.7，配电变压器容量较小时，取小数；容量较大时，取大数。

【例 1-3】 SBH11-M-1250/10 型配电变压器，额定电压 $U_{N1}/U_{N2}=10/0.4$kV，额定容量 $S_N=1250$kV · A，联结组标号为 Yyn0，试计算该变压器的零序电阻及零序电抗。

解： 配电变压器低压侧额定电流按式（2-6）计算，即

$$I_{ph\cdot2}=I_{N2}=\frac{S_N}{\sqrt{3}U_{N2}}=\frac{1250}{\sqrt{3}\times0.4}\text{A}=1804\text{A}$$

配电变压器零序电阻按式（1-36）计算，即

$$R_{T0}=K\frac{U_{ph}}{I_N}\times 10^3=0.5\times\frac{230}{1804}\times 10^3\mathrm{m\Omega}=63.75\mathrm{m\Omega}$$

配电变压器零序电抗按式（1-37）计算，即

$$X_{T0}=K\frac{U_{ph}}{I_{ph\cdot 2}}\times 10^3=0.6\times\frac{230}{1804}\times 10^3\mathrm{m\Omega}=76.50\mathrm{m\Omega}$$

该配电变压器（Yyn0 联结）零序电抗实测值为 78.6mΩ。

Yyn0 联结的 10kV 配电变压器零序电抗实测值见表 1-4。

表 1-4　10kV 配电变压器（Yyn0 联结）零序电抗实测值

额定容量/kV·A	50	80	100	125	160	200	250	315	400
零序电抗/mΩ	902.2	753.6	613.1	460.5	407.1	359.2	307.0	229.8	220.1

额定容量/kV·A	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
零序电抗/mΩ	175.6	151.2	150.1	110.2	78.6	59.2	45.9	37.1

四、导线、电缆阻抗的计算

1. 电阻的计算

电流在导体中流动时所受到的阻力，称为电阻，用字母 R 或 r 表示。常用的电阻单位有欧（Ω）、千欧（kΩ）、兆欧（MΩ），它们之间的换算关系

$$1\mathrm{k\Omega}=10^3\Omega,\ 1\mathrm{M\Omega}=10^3\mathrm{k\Omega}$$

金属导体的电阻与导体的材料性质及尺寸有关，即

$$R=\rho\frac{L}{S}\tag{1-38}$$

式中，R 为导体的电阻，单位为 Ω；L 为导体的长度，单位为 m；S 为导体截面积，单位为 $\mathrm{mm^2}$；ρ 为导体的电阻率，单位为 Ω·m。

式（1-38）说明，导体的电阻 R 与长度 L 成正比，与截面积 S 成反比，且与电阻率 ρ 有关。

电阻率是指长 1m、截面积为 $1\mathrm{mm^2}$ 的导体，在 20℃温度下的电阻值。常用导电材料的电阻率见表 1-5。

表 1-5　常用导电材料的电阻率

材料名称	银	铜	铝	低碳钢	铅	铸铁
电阻率 ρ（Ω·m，20℃）	0.0165	0.0175	0.0283	0.13	0.20	0.50

从表 1-5 可以看出，电阻率较小的银、铜、铝常用来制作导电器材，以降低器材的电阻和接触电阻。

导线、电缆的电阻按式（1-39）计算，即

$$R_L=R_{0L}L\tag{1-39}$$

式中，R_L 为导线、电缆的电阻，单位为 mΩ；R_{0L} 为导线、电缆单位长度电阻，单位为 mΩ/m；L 为导线、电缆长度，单位为 m。

LJ 型铝绞线单位长度电阻见表 1-6。

表 1-6　LJ 型铝绞线单位长度电阻

型号	标称截面积 S/mm^2	单位长度直流电阻 R_{0L}/(mΩ/m) <	型号	标称截面积 S/mm^2	单位长度直流电阻 R_{0L}/(mΩ/m) <
LJ—16	16	1.802	LJ—120	120	0.2373
LJ—25	25	1.127	LJ—150	150	0.1943
LJ—35	35	0.8332	LJ—185	185	0.1574
LJ—50	50	0.5786	LJ—210	210	0.1371
LJ—70	70	0.4018	LJ—240	240	0.1205
LJ—95	95	0.3009	LJ—300	300	0.09689

LGJ 型钢芯铝绞线单位长度电阻见表 1-7。

表 1-7　LGJ 型钢芯铝绞线单位长度电阻

型号	标称截面积 S/mm^2	单位长度直流电阻 R_{0L}(温度为+70℃时)/(mΩ/m) <	型号	标称截面积 S/mm^2	单位长度直流电阻 R_{0L}(温度为+70℃时)/(mΩ/m) <
LGJ—16	16	2.141	LGJ—120	120	0.286
LGJ—25	25	1.371	LGJ—150	150	0.228
LGJ—35	35	0.979	LGJ—185	185	0.185
LGJ—50	50	0.685	LGJ—240	240	0.143
LGJ—70	70	0.489	LGJ—300	300	0.114
LGJ—95	95	0.361			

电力电缆单位长度电阻见表 1-8。

表 1-8　电力电缆单位长度电阻

标称截面积 S/mm^2	单位长度铜导体直流电阻 R_{0L}(温度为+90℃时)/(mΩ/m) <	单位长度铝导体直流电阻 R_{0L}(温度为+90℃时)/(mΩ/m) <	标称截面积 S/mm^2	单位长度铜导体直流电阻 R_{0L}(温度为+90℃时)/(mΩ/m) <	单位长度铝导体直流电阻 R_{0L}(温度为+90℃时)/(mΩ/m) <
25	0.911	1.465	185	0.123	0.198
35	0.651	1.046	240	0.0949	0.153
50	0.455	0.732	300	0.0759	0.122
70	0.325	0.523	400	0.0570	0.0916
95	0.240	0.385	500	0.0455	0.0732
120	0.190	0.305	630	0.0361	0.0581
150	0.152	0.244			

JKYJ-1、TJLYJ-1、JKYJ-10、JKLY-10 型交联聚乙烯绝缘架空电缆单位长度电阻见表 1-9。

表 1-9　交联聚乙烯绝缘架空电缆单位长度电阻

标称截面积 S/mm^2	单位长度铜导体直流电阻 R_{0L}（温度为 +70℃时）/(mΩ/m) <	单位长度铝导体直流电阻 R_{0L}（温度为 +70℃时）/(mΩ/m) <	标称截面积 S/mm^2	单位长度铜导体直流电阻 R_{0L}（温度为 +70℃时）/(mΩ/m) <	单位长度铝导体直流电阻 R_{0L}（温度为 +70℃时）/(mΩ/m) <
16	1.329	2.141	95	0.224	0.361
25	0.850	1.370	120	0.177	0.286
35	0.607	0.979	150	0.142	0.228
50	0.425	0.685	185	0.115	0.185
70	0.304	0.489	240	0.0886	0.143

2. 电抗的计算

架空线路单位长度电抗按式（1-40）计算，即

$$X_0 = 0.1445\lg\frac{D_{av}}{r} + 0.0157 \tag{1-40}$$

式中，X_0 为架空线路单位长度电抗，单位为 Ω/km；r 为导线半径，单位为 mm；D_{av} 为导线几何均距，单位为 mm。

导线三角形（△）排列时，几何均距为

$$D_{av} = D_{12} = D_{23} = D_{31}$$

导线水平排列时，几何均距为

$$D_{av} = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{31}} = \sqrt[3]{2D^3} = 1.26D$$

导线、电缆的电抗按式（1-41）计算，即

$$X_L = X_{0L}L \tag{1-41}$$

式中，X_L 为导线、电缆的电抗，单位为 mΩ；X_{0L} 为导线、电缆单位长度电抗，单位为 mΩ/m；L 为导线、电缆长度，单位为 m。

电力线路每相的单位长度电抗平均值见表 1-10。

表 1-10　电力线路每相的单位长度电抗平均值　　（单位：Ω/km）

线路结构	线路电压			
	6～10kV		220/380V、1kV	
	$X_1 = X_2$	X_0	$X_1 = X_2$	X_0
架空线路	0.4	1.4	0.32	1.12
三芯电缆	0.08	0.28	0.06	0.21
1kV 四芯电缆	—	—	0.066	0.17

3. 导线、电缆阻抗计算

导线、电缆的阻抗（单位为 mΩ）按式（1-42）计算，即

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \tag{1-42}$$

五、母线阻抗的计算

母线的电阻按式（1-43）计算，即

$$R_M = R_{0M}L \tag{1-43}$$

式中，R_M 为母线的电阻，单位为 mΩ；R_{0M}为母线单位长度电阻，单位为 mΩ/m；L 为母线长度，单位为 m。

母线的电抗按式（1-44）计算，即

$$X_M = X_{0M}L \tag{1-44}$$

式中，X_M 为母线的电抗，单位为 mΩ；X_{0M}为母线单位长度电抗，单位为 mΩ/m；L 为母线长度，单位为 m。

母线的阻抗（mΩ）按式（1-45）计算，即

$$Z_M = \sqrt{R_M^2 + X_M^2} \tag{1-45}$$

三相母线单位长度电阻、电抗见表 1-11。

表 1-11　三相母线单位长度电阻、电抗

母线规格 $(a \times b)$/mm	温度为 +70℃时，单位长度电阻 R_{0M}/(mΩ/m)		当相间中心距离 D/mm 为下列诸值时，单位长度电抗 X_{0M}/(mΩ/m)			
	铜导体	铝导体	160	200	250	350
25×3	0.292	0.469	0.218	0.232	0.240	0.267
25×4	0.221	0.355	0.215	0.229	0.237	0.265
30×3	0.246	0.394	0.207	0.221	0.230	0.256
30×4	0.185	0.299	0.205	0.219	0.227	0.255
40×4	0.140	0.225	0.189	0.203	0.212	0.238
40×5	0.113	0.180	0.188	0.202	0.210	0.237
50×5	0.091	0.144	0.175	0.189	0.199	0.224
50×6	0.077	0.121	0.174	0.188	0.197	0.223
60×6	0.067	0.102	0.164	0.187	0.188	0.213
60×8	0.050	0.077	0.162	0.176	0.185	0.211
80×6	0.050	0.077	0.147	0.161	0.172	0.196
80×8	0.039	0.060	0.146	0.160	0.170	0.195
80×10	0.033	0.049	0.144	0.158	0.168	0.193
100×6	0.042	0.063	0.134	0.148	0.160	0.183
100×8	0.032	0.048	0.133	0.147	0.158	0.182
100×10	0.027	0.041	0.132	0.146	0.156	0.181
120×8	0.028	0.042	0.122	0.136	0.149	0.171
120×10	0.023	0.035	0.121	0.135	0.147	0.170

六、低压断路器及刀开关的阻抗值

低压断路器及刀开关的接触电阻见表 1-12，断路器过电流线圈的电阻和电抗见表 1-13。

表 1-12　低压断路器及刀开关的接触电阻

类　　型	额定电流/A							
	50	100	200	400	630	1000	2000	3150
断路器	1. 3	0. 75	0. 60	0. 40	0. 25	0	0	0
刀开关接触电阻/Ω	0. 87	0. 50	0. 40	0. 20	0. 15	0. 08	0. 03	0. 02

表 1-13　低压断路器过电流线圈的电阻和电抗

额定电流/A	50	100	200	400	630
电阻/mΩ	5. 5	1. 3	0. 36	0. 15	0. 12
电抗/mΩ	2. 7	0. 86	0. 28	0. 10	0. 09

第六节　10kV 配电系统短路电流的计算

一、基准值的计算

在计算 10kV 配电系统短路电流时，一般只计及电力系统、电力架空线路、电力电缆线路、配电变压器等电器元件的电抗，采用标幺值方法计算。为了计算方便，在计算之前，通常应选定短路回路的基准容量、基准电压、基准电流及基准电抗等参数。

基准容量通常选 $S_j = 100\text{MV} \cdot \text{A}$。

基准电压一般选平均电压，电源电压为 10kV 时，取 $U_j = 10.5\text{kV}$；电源电压为 380V 时，取 $U_j = 0.4\text{kV}$。

当基准容量 S_j（MV · A）与基准电压 U_j（kV）选定后，基准电流 I_j（kA）可按式（1-46）计算，即

$$I_j = \frac{S_j}{\sqrt{3}U_j} \tag{1-46}$$

基准电抗（Ω）可按式（1-47）计算，即

$$X_j = \frac{U_j}{\sqrt{3}I_j} = \frac{U_j^2}{S_j} \tag{1-47}$$

10/0. 4kV 配电系统额定电压时的电压、电流基准值见表 1-14。

表 1-14　10/0. 4kV 配电系统额定电压时的电压、电流基准值

额定电压 U_N/kV	基准电压 U_j/kV	基准电流 I_j/kA
10	10.5	5.50
0.4	0.4	144.5

二、标幺值的计算

在计算 10kV 配电系统短路电流时，采用标幺值方法计算十分方便。标幺值是一种相对值，即电路参数的有名值与基准值之比，如

$$\left.\begin{aligned}&\text{容量标幺值：} S_* = \frac{S}{S_j}\\&\text{电压标幺值：} U_* = \frac{U}{U_j}\\&\text{电流标幺值：} I_* = \frac{I}{I_j}\\&\text{电抗标幺值：} X_* = \frac{X}{X_j} = \frac{XS_j}{U_j^2}\end{aligned}\right\}\tag{1-48}$$

式中，S 为计算回路容量，单位为 MV · A；U 为计算回路电压，单位为 kV；I 为计算回路电流，单位为 kA；X 为计算回路电抗，单位为 Ω；S_j 为基准容量，单位为 MV · A；U_j 为基准电压，单位为 kV；I_j 为基准电流，单位为 kA；X_j 为基准电抗，单位为 Ω。

三、10kV 配电系统电抗标幺值的计算

10kV 配电系统短路容量为 S_K、基准容量为 S_j 时，该电力系统的综合电抗标幺值可按式（1-49）计算，即

$$X_{S*} = \frac{S_j}{S_{KS}} \tag{1-49}$$

式中，S_j 为基准容量，单位为 MV · A，取 100MV · A；S_{KS} 为系统的短路容量，单位为 MV · A。

10kV 配电系统当短路电流分别为 16kA、20kA 时电抗标幺值见表 1-15。

表 1-15　10kV 配电系统的电抗标幺值

额定电压 U_N/kV	短路电流 I_K/kA	短路容量 S_{KS}/MV · A	S_j = 100MV · A 时系统的电抗标幺值 X_{S*}
10	16	276	0. 3623
10	20	346	0. 2890

四、配电变压器阻抗标幺值的计算

配电变压器的电阻标幺值按式（1-50）计算，即

$$R_{T*} = \Delta P_K \frac{S_j}{S_N^2} \times 10^{-3} \tag{1-50}$$

式中，R_{T*} 为变压器的电阻标幺值；ΔP_K 为变压器的负荷损耗，单位为 kW；S_N 为变压器的额定容量，单位为 MV · A。

配电变压器的阻抗标幺值 Z_{T*} 可按式（1-51）计算，即

$$Z_{T*} = \frac{u_K\%}{100} \times \frac{S_j}{S_N} \tag{1-51}$$

式中，$u_K\%$ 为变压器的阻抗电压值。

配电变压器的电抗标幺值按式（1-52）计算，当变压器的电阻值允许忽略不计时，配电变压器的电抗标幺值可按式（1-53）计算，即

$$X_{T*} = \sqrt{Z_{T*}^2 - R_{T*}^2} \tag{1-52}$$

$$X_{T*} = \frac{u_K\%}{100} \times \frac{S_j}{S_N} \tag{1-53}$$

五、电力线路阻抗标幺值的计算

电力线路的电阻标幺值 R_{L*} 可按式（1-54）计算，即

$$R_{L*} = R_L \frac{S_j}{U_{av}^2} \tag{1-54}$$

式中，R_L 为电力线路的电阻值，单位为 Ω；U_{av} 为平均电压，单位为 kV。

电力线路的电抗标幺值可按式（1-55）计算，即

$$X_{L*} = X_L \frac{S_j}{U_{av}^2} \tag{1-55}$$

式中，X_L 为电力线路的电抗值，单位为 Ω。

电力线路阻抗标幺值为

$$Z_{L*} = \sqrt{R_{L*}^2 + X_{L*}^2} \tag{1-56}$$

六、短路电流的计算

1. 三相短路电流有效值的计算

三相短路电流有效值（kA）可按式（1-57）计算，即

$$I_K = \frac{I_j}{\Sigma Z_*} \tag{1-57}$$

式中，I_j 为基准电流，单位为 kA；ΣZ_* 为短路点 K 处电气系统及元器件的阻抗标幺值。

2. 两相短路电流的计算

两相短路电流与三相短路电流的计算基本相同，一般可先按三相短路电流的计算方法计算，然后按式（1-58）计算两相短路电流，即

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_K^{(3)} = 0.866 I_K^{(3)} \tag{1-58}$$

式中，$I_K^{(2)}$ 为两相短路电流，单位为 kA；$I_K^{(3)}$ 为三相短路电流，单位为 kA。

两相短路电流的计算，一般用于检验相间短路保护装置在短路的情况下能否精确灵敏启动而切断电源。

3. 三相短路冲击电流的计算

短路回路时间常数可按式（1-59）计算，即

$$T_a = \frac{\Sigma X}{314 \Sigma R} \tag{1-59}$$

式中，T_a 为时间常数，单位为 s；ΣR 为短路回路电阻，单位为 Ω；ΣX 为短路回路电抗，单位为 Ω。

短路回路冲击系数可按式（1-60）计算，即

$$K_{imp} = 1 + e^{-\frac{0.01}{T_a}} \tag{1-60}$$

三相短路冲击电流可按式（1-61）计算，即

$$i_{imp} = \sqrt{2}K_{imp}I_K \tag{1-61}$$

冲击系数 K_{imp} 与时间常数 T_a 有关，在 10kV 线路中，当 $T_a = 0.05s$ 时，有 $K_{imp} = 1 + e^{-\frac{0.01}{0.05}} = 1.8$，则冲击电流按式（1-62）计算，即

$$i_{imp} = \sqrt{2}K_{imp}I_K = \sqrt{2} \times 1.8I_K = 2.55I_K \tag{1-62}$$

冲击电流用于校验电气设备和载流导体的电动力稳定性。

4. 三相短路电流最大有效值的计算

三相短路电流最大有效值冲击系数可按式（1-63）计算，即

$$K'_{imp} = \sqrt{1 + 2(K_{imp} - 1)^2} \tag{1-63}$$

三相短路电流最大有效值可按式（1-64）计算，即

$$I_{imp} = K'_{imp}I_K = \sqrt{1 + 2(K_{imp} - 1)^2}I_K \tag{1-64}$$

在 10kV 配电系统中发生三相短路时，当 $K_{imp} = 1.8$ 时，短路电流最大有效值可按式（1-65）计算，即

$$I_{imp} = \sqrt{1 + 2(K_{imp} - 1)^2}I_K = \sqrt{1 + 2 \times (1.8 - 1)^2}I_K = 1.51I_K \tag{1-65}$$

短路电流最大有效值常用于校验某些电气设备的断流能力和机械强度。

5. 短路容量计算

三相短路容量（MV · A）可按式（1-66）计算，即

$$S_K = \sqrt{3}U_{av}I_K \tag{1-66}$$

式中，U_{av} 为短路点 K 处平均电压，单位为 kV；I_K 为三相短路电流有效值，单位为 kA。

用标幺值计算时，短路容量标幺值可按式（1-67）计算，即

$$S_{K*} = \frac{S_K}{S_j} = \frac{\sqrt{3}U_{av}I_K}{\sqrt{3}U_{av}I_j} = \frac{I_K}{I_j} = I_{K*} \tag{1-67}$$

式中，U_{av} 为平均电压，单位为 kV，10kV 级取 $U_{av} = 10.5kV$，低压取 $U_{av} = 0.4kV$；I_j 为基准电流，单位为 kA，10kV 时 $I_j = 5.5kA$，0.4kV 时 $I_j = 144.5kA$；I_{K*} 为短路电流标幺值。

短路容量可按式（1-68）计算，即

$$S_K = I_{K*}S_j \tag{1-68}$$

短路容量主要用来校验断路器的开断能力。

第七节　短路电流计算实例

【例 1-4】 某工厂由配电所 10kV 电源供电，35kV 电源变电所 10kV 母线短路容量为 $S_K = 300MV \cdot A$，10kV 架空线路采用 LGJ-95 型钢芯铝绞线，导线截面积 $S = 95mm^2$，长度 $L_1 = 2km$；采用 ZR-YJV-8.7/15-3 ×95 型三芯铜芯交联聚乙烯绝缘电缆，电缆截面积 $S = 95mm^2$，

长度 $L_2=0.2\text{km}$；安装1台SBH11-M-1250/10型油浸式非晶合金配电变压器，额定电压 $U_{N1}/U_{N2}=10/0.4\text{kV}$，额定容量 $S_N=1250\text{kV}\cdot\text{A}$，负荷损耗 $\Delta p_K=12\text{kW}$，阻抗电压 $u_K\%=4.5\%$，配电系统电气接线原理如图1-12所示。试计算该配电所变压器高、低压侧短路电流。

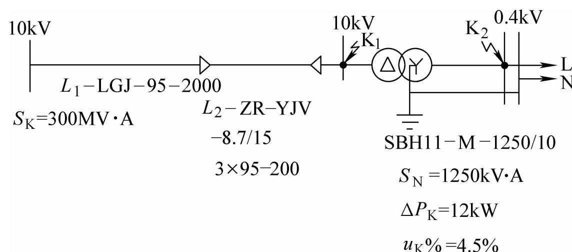


图1-12　配电系统电气接线原理

解：

1. 电气设备电抗标幺值计算

（1）系统电抗标幺值

系统电抗标幺值按式（1-49）计算，即

$$X_{S*}=\frac{S_i}{S_{KS}}=\frac{100}{300}=0.3333$$

（2）架空线路电抗标幺值

架空线路电抗值按式（1-41）计算，即

$$X_{L1}=X_0L_1=0.4\times2\Omega=0.8\Omega$$

架空线路电抗标幺值按式（1-55）计算，即

$$X_{L1*}=X_{L1}\frac{S_j}{U_{av}^2}=0.8\times\frac{100}{10.5^2}=0.7256$$

（3）电力电缆电抗标幺值

电力电缆电抗按式（1-41）计算，即

$$X_{L2}=X_0L_2=0.08\times0.2\Omega=0.016\Omega$$

电力电缆电抗标幺值按式（1-55）计算，即

$$X_{L2*}=X_{L2}\frac{S_j}{U_{av}^2}=0.016\times\frac{100}{10.5^2}=0.0145$$

（4）配电变压器电抗标幺值

配电变压器电阻标幺值按式（1-50）计算，即

$$R_{T*}=\Delta P_K\frac{S_j}{S_N^2}\times10^{-3}=12\times\frac{100}{1.25^2}\times10^{-3}=0.768$$

配电变压器阻抗标幺值按式（1-51）计算，即

$$Z_{T*}=\frac{u_K\% S_j}{100S_N}=\frac{4.5\times 100}{100\times 1.25}=3.6$$

配电变压器电抗标幺值按式（1-52）计算，即

$$X_{T*}=\sqrt{Z_{T*}^2-R_{T*}^2}=\sqrt{3.6^2-0.768^2}=3.52$$

配电系统电抗标幺值等效电路如图 1-13 所示。

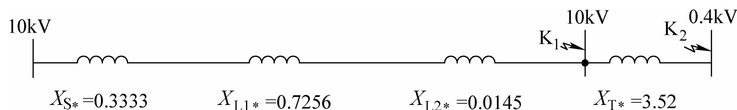


图 1-13　配电系统电抗标幺值等效电路

2. K_1 处短路电流计算

电抗标幺值为

$$\Sigma X_*=X_{S*}+X_{L1*}+X_{L2*}=0.3333+0.7256+0.0145=1.0734$$

三相短路电流有效值按式（1-57）计算，即

$$I_{K1}^{(3)}=\frac{I_j}{\Sigma X_*}=\frac{5.5}{1.0734}\text{kA}=5.1\text{kA}$$

三相短路电流稳态值为

$$I_{K1\infty}^{(3)}=I_{K1}^{(3)}=5.1\text{kA}$$

两相短路电流有效值按式（1-58）计算，即

$$I_{K1}^{(2)}=\frac{\sqrt{3}}{2}I_{K1}^{(3)}=\frac{\sqrt{3}}{2}\times 5.1\text{kA}=4.42\text{kA}$$

三相短路电流冲击值按式（1-62）计算，即

$$i_{imp}=2.55I_{K1}^{(3)}=2.55\times 5.1\text{kA}=13\text{kA}$$

三相短路电流最大值按式（1-65）计算，即

$$I_{imp}=1.51I_{K1}^{(3)}=1.51\times 5.1\text{kA}=7.7\text{kA}$$

三相短路容量按式（1-66）计算，即

$$S_K=\sqrt{3}U_{av}I_{K1}^{(3)}=\sqrt{3}\times 10.5\times 5.1\text{MV}\cdot\text{A}=92.75\text{MV}\cdot\text{A}$$

3. K_2 处短路电流计算

电抗标幺值为

$$\Sigma X_*=X_{S*}+X_{L1*}+X_{L2*}+X_{T*}=0.3333+0.7256+0.0145+3.52=4.5934$$

三相短路电流有效值按式（1-57）计算，即

$$I_{K2}^{(3)}=\frac{I_j}{\Sigma X_*}=\frac{144.5}{4.5934}\text{kA}=31.46\text{kA}$$

两相短路电流有效值按式（1-58）计算，即

$$I_{K2}^{(2)}=\frac{\sqrt{3}}{2}I_{K2}^{(3)}=\frac{\sqrt{3}}{2}\times 31.46\text{kA}=27.24\text{kA}$$

三相短路冲击电流按式（1-62）计算，即

$$i_{imp}=2.55I_{K2}^{(3)}=2.55\times 31.46\text{kA}=80.23\text{kA}$$

三相短路电流最大有效值按式（1-65）计算

$$I_{imp}=1.51I_{K2}^{(3)}=1.51\times 31.46\text{kA}=47.50\text{kA}$$

三相短路容量按式（1-66）计算

$$S_K=\sqrt{3}U_{N2}I_{K2}^{(3)}=\sqrt{3}\times 0.4\times 31.46\text{MV}\cdot\text{A}=21.80\text{MV}\cdot\text{A}$$

配电系统三相短路电流的计算值见表1-16。

表1-16　三相短路电流的计算值

短路处	短路处平均电压/kV	有效值/kA		三相短路电流稳态值/kA	三相短路电流冲击值/kA	三相短路电流最大有效值/kA	短路容量/MV·A
		$I_K^{(3)}$	$I_K^{(2)}$	$I_{K\infty}$	i_{imp}	I_{imp}	S_K
K_1 10kV侧母线处	10.5	5.1	4.42	5.1	13	7.7	92.75
K_2 0.4kV侧变压器出口处	0.4	31.46	27.24	31.46	80.23	47.50	21.80

第八节　低压短路电流的计算

一、短路电流有效值的计算

在选择低压电气设备时，必须计算0.4kV低压电网三相短路电流。三相短路电流一般都大于两相短路电流和单相短路电流。通常采用电阻、电抗、阻抗的有名值计算短路电流。

归算到短路点所在电压等级的电源到短路点的综合阻抗可按式（1-69）计算，即

$$\Sigma Z=\sqrt{\Sigma R^2+\Sigma X^2} \tag{1-69}$$

式中，ΣZ为综合阻抗值，单位为mΩ；ΣR为综合电阻值，单位为mΩ；ΣX为综合电抗值，单位为mΩ。

短路电流有效值可按式（1-70）计算，即

$$I_K=\frac{U_{av}}{\sqrt{3}\Sigma Z} \tag{1-70}$$

式中，I_K为短路电流有效值，单位为kA；U_{av}为平均电压，单位为kV，取0.4kV；ΣZ为短路点处阻抗值，单位为mΩ。

二、短路冲击电流的计算

在选择低压电气设备时，必须校验电气设备和载流导体的电动力稳定性。短路冲击电流可按式（1-71）计算，即

$$i_{imp}=\sqrt{2}K_{imp}I_K \tag{1-71}$$

式中，i_{imp}为短路冲击电流，单位为 kA；I_K 为三相短路电流有效值，单位为 kA。

短路冲击系数可按式（1-72）计算，即

$$K_{imp} = 1 + e^{-\frac{0.01}{T_a}} \tag{1-72}$$

式中，K_{imp}为短路冲击系数；T_a 为时间常数，单位为 s。

时间常数可按式（1-73）计算，即

$$T_a = \frac{\Sigma X}{314\Sigma R} \tag{1-73}$$

式中，T_a 为时间常数，单位为 s；ΣX 为短路点电抗值，单位为 mΩ；ΣR 为短路点电阻值，单位为 mΩ。

配电变压器容量在 1000kV · A 及以下，其二次侧及低压电路发生三相短路时，三相短路电流冲击值可按式（1-74）计算，即

$$i_{imp} = 1.84 I_K \tag{1-74}$$

三、短路电流最大有效值的计算

为了校验低压电气设备的开断能力和机械强度，必须计算短路电流最大有效值。短路电流最大有效值可按式（1-75）计算，即

$$I_{imp} = K'_{imp} I_K \tag{1-75}$$

式中，I_{imp}为短路电流最大有效值，单位为 kA；I_K 为三相短路电流有效值，单位为 kA；K'_{imp}为短路电流最大有效值冲击系数。

短路电流最大有效值冲击系数可按式（1-76）计算，即

$$K'_{imp} = \sqrt{1 + 2(K_{imp} - 1)^2} \tag{1-76}$$

式中，K'_{imp}为短路电流最大有效值冲击系数；K_{imp}为短路冲击系数。

配电变压器容量在 1000kV · A 及以下，其二次侧及低压电路发生三相短路时，三相短路电流最大有效值可按式（1-77）计算，即

$$I_{imp} = 1.09 I_K \tag{1-77}$$

四、短路容量的计算

短路容量主要用来校验断路器的开断能力，短路容量可按式（1-78）计算，即

$$S_K = \sqrt{3} U_N I_K \tag{1-78}$$

式中，S_K 为短路容量，单位为 MV · A；U_N 为额定电压，单位为 kV，一般取平均电压 $U_N = U_{av} = 0.4$kV；I_K 为短路电流有效值，单位为 kA。

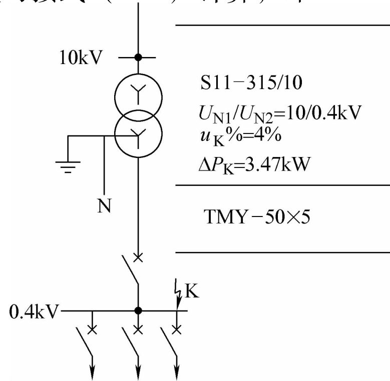


图 1-14　配电系统原理

【例 1-5】 某配电所安装 1 台 S11-315/10 型配电变压器，额定电压 $U_{N1} = 10$kV，$U_{N2} = 0.4$kV，额定容量 $S_N = 315$kV · A，阻抗电压 $u_K\% = 4\%$，负载损耗 $\Delta P_K = 3.47$kW，配电变压器低压侧接线排到低压配电柜母排处，采用 TMY-50 × 5 型铜母线，截面尺寸为 50mm × 5mm，长度 $L = 3$m，配电系统原理如图 1-14 所示，试计

算低压侧母排处短路电流。

解：

1. 配电变压器的阻抗

查表 1-1 得 S11-315/10 型配电变压器的电阻 $R_T = 5.6\text{m}\Omega$，电抗 $X_T = 19.53\text{m}\Omega$。

2. 母线的阻抗

查表 1-11 得 TMY-50 ×5 型铜母线单位长度电阻 $R_{0M} = 0.091\text{m}\Omega/\text{m}$，母线的电阻按式（1-43）计算，得

$$R_M = R_{oM}L = (0.091 \times 3)\text{m}\Omega = 0.273\text{m}\Omega$$

查表 1-11 取 $D = 250\text{mm}$，母线单位长度电抗 $X_{0M} = 0.199\text{m}\Omega/\text{m}$，母线的电抗按式（1-44）计算，得

$$X_M = X_{0M}L = 0.199 \times 3\text{m}\Omega = 0.597\text{m}\Omega$$

配电系统阻抗等效电路如图 1-15 所示。

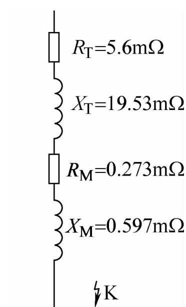


图 1-15　配电系统阻抗等效电路

3. 等效阻抗

等效电阻：

$$\Sigma R = R_T + R_M = (5.6 + 0.273)\text{m}\Omega = 5.873\text{m}\Omega$$

等效电抗：

$$\Sigma X = X_T + X_M = (19.53 + 0.597)\text{m}\Omega = 20.127\text{m}\Omega$$

等效阻抗：

$$\Sigma Z = \sqrt{\Sigma R^2 + \Sigma X^2} = \sqrt{5.873^2 + 20.127^2}\text{m}\Omega = 20.966\text{m}\Omega$$

4. 三相短路电流有效值的计算

三相短路电流有效值按式（1-70）计算，得

$$I_K = \frac{U}{\sqrt{3}\Sigma Z} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 20.966 \times 10^{-3}}\text{kA} = 11.03\text{kA}$$

5. 短路冲击电流的计算

时间常数按式（1-73）计算，得

$$T_a = \frac{\Sigma X}{314\Sigma R} = \frac{20.127}{314 \times 5.873}\text{s} = 0.0109\text{s}$$

短路冲击系数按式（1-72）计算，得

$$K_{imp} = 1 + e^{-\frac{0.01}{T_a}} = 1 + e^{-\frac{0.01}{0.0109}} = 1 + 0.4 = 1.4$$

短路冲击电流按式（1-71）计算，得

$$i_{imp} = \sqrt{2}K_{imp}I_K = \sqrt{2} \times 1.4 \times 11.03\text{kA} = 21.77\text{kA}$$

6. 短路电流最大有效值的计算

短路电流最大有效值冲击系数按式（1-76）计算，得

$$K'_{imp} = \sqrt{1 + 2(K_{imp} - 1)^2} = \sqrt{1 + 2 \times (1.4 - 1)^2} = 1.15$$

短路电流最大有效值按式（1-75）计算，得

$$I_{imp} = K'_{imp}I_K = 1.15 \times 11.03\text{kA} = 12.68\text{kA}$$

7. 三相短路容量的计算

三相短路容量按式（1-78）计算，得

$$S_K = \sqrt{3}U_{av}I_K = \sqrt{3} \times 0.4 \times 11.03\text{MV} \cdot \text{A} = 7.64\text{MV} \cdot \text{A}$$

S11-315/10 型配电变压器 0.4kV 低压侧三相短路电流的计算值见表 1-17。

表 1-17　S11-315/10 型配电变压器 0.4kV 低压侧三相短路电流的计算值

短　路　点	短路电流有效值 I_K/kA	短路冲击电流 i_{imp}/kA	短路电流最大有效值 I_{imp}/kA	短路容量 S_K /MV·A
0.4kV 母排处	11.03	21.77	12.68	7.64

按照【例 1-5】的方法计算，常用的配电变压器 0.4kV 低压侧短路电流的计算值见表 1-18。

表 1-18　常用的配电变压器 0.4kV 低压侧短路电流的计算值

序号	配电变压器型号	阻抗电压 u_K(%)	TMY 型母线尺寸（根数 × a × b − L）/mm	短路电流有效值 I_K/kA	短路冲击电流 i_{imp}/kA	短路电流最大有效值 I_{imp}/kA	短路容量 S_K/MV·A
1	S11-315/10	4	50 × 5 − 3000	11.03	21.77	12.68	7.64
2	S11-400/10	4	50 × 5 − 3000	13.89	28.01	16.25	9.63
3	S11-500/10	4	60 × 8 − 3000	17.29	35.35	20.58	11.98
4	S11-630/10	4.5	80 × 6 − 3000	19.33	41.16	23.78	13.40
5	S11-800/10	4.5	100 × 8 − 3000	24.39	52.62	30.49	16.90
6	S11-1000/10	4.5	100 × 10 − 3000	30.13	63.72	37.10	20.88
7	S11-1250/10	4.5	120 × 10 − 3000	37.26	80.38	46.58	25.82
8	S11-1600/10	4.5	2 × 100 × 10 − 3000	48.78	106.61	61.46	33.80
9	S11-2000/10	5	3 × 100 × 10 − 3000	55.65	124.76	72.35	38.57
10	S11-2500/10	5	3 × 120 × 10 − 3000	69.06	155.80	91.08	47.86
11	SBH11-M-315/10	4	50 × 5 − 3000	11.02	21.44	12.56	7.64
12	SBH11-M-400/10	4	50 × 5 − 3000	13.89	27.61	15.97	9.63
13	SBH11-M-500/10	4	60 × 8 − 3000	17.28	34.84	20.22	11.98
14	SBH11-M-630/10	4.5	80 × 6 − 3000	19.33	40.61	23.58	13.40

（续）

序号	配电变压器型号	阻抗电压 u_K(%)	TMY 型母线尺寸（根数×a×b－L)/mm	短路电流有效值 I_K/kA	短路冲击电流 i_{imp}/kA	短路电流最大有效值 I_{imp}/kA	短路容量 S_K/MV·A
15	SBH11-M-800/10	4.5	100×8－3000	24.38	51.91	36.81	16.90
16	SBH11-M-1000/10	4.5	100×10－3000	30.12	64.55	37.35	20.87
17	SBH11-M-1250/10	4.5	120×10－3000	37.24	79.29	45.81	25.81
18	SBH11-M-1600/10	4.5	2×100×10－3000	48.78	105.23	60.98	33.80
19	SBH11-M-2000/10	5	3×100×10－3000	55.58	123.04	71.14	38.17
20	SBH11-M-2500/10	5	3×120×10－3000	60.90	139.97	81.61	42.20
21	SCB10-630/10	6	80×6－3000	14.67	33.92	19.80	10.17
22	SCB10-800/10	6	100×8－3000	18.53	43.37	25.39	12.84
23	SCB10-1000/10	6	100×10－3000	22.96	54.39	31.91	15.91
24	SCB10-1250/10	6	120×10－3000	28.46	67.82	39.84	19.72
25	SCB10-1600/10	6	2×100×10－3000	37.05	89.33	52.61	25.68
26	SCB10-2000/10	6	3×100×10－3000	46.67	113.18	66.27	32.34
27	SCB10-2500/10	6	3×120×10－3000	57.99	141.46	82.93	40.19
28	SCB10-1600/10	8	2×100×10－3000	28.07	69.66	40.98	19.45
29	SCB10-2000/10	8	3×100×10－3000	35.25	87.97	52.17	24.43
30	SCB10-2500/10	8	3×120×10－3000	43.90	108.94	64.53	30.42

第九节　电气设备的校验

一、短路动稳定校验

电气设备的短路动稳定应满足以下条件：

$$i_{max} \geqslant i_{imp} \tag{1-79}$$

$$I_{max} \geqslant I_{imp} \tag{1-80}$$

式中，i_{max}为电气设备允许通过的极限峰值电流，单位为 kA；i_{imp}为三相短路冲击电流的计算值，单位为 kA；I_{max}为电气设备允许通过的极限电流有效值，单位为 kA；I_{imp}为计算的三相短路电流最大有效值，单位为 kA。

二、短路热稳定校验

电气设备的短路热稳定应满足以下条件：

$$I_t^2 t \geqslant I_\infty^2 t_{ic} \tag{1-81}$$

式中，I_t 为电气设备热稳定试验电流，单位为 kA；t 为电气设备热稳定试验时间，单位为 s；I_∞ 为短路电流稳定值，取三相短路电流有效值，单位为 kA；t_{ic} 为短路发热假想时间，单位为 s，一般取短路保护动作时间与断路器动作时间之和，真空断路器时取 0.1 ~0.15s。

三、短路容量校验

选用的电气设备允许的短路容量应大于设备回路的短路容量，即

$$S_{max} > S_K \tag{1-82}$$

式中，S_{max}为设备允许的短路容量，单位为 MV · A；S_K 为电气设备回路计算的短路容量，单位为 MV · A。

第二章　配电变压器

第一节　配电变压器的工作原理

一、概述

配电变压器是根据电磁感应原理，将 10kV 交流电压、电流，变换成频率相同的 0.4kV 交流电压、电流，为用电设备提供电源。单相配电变压器的工作原理如图 2-1 所示。

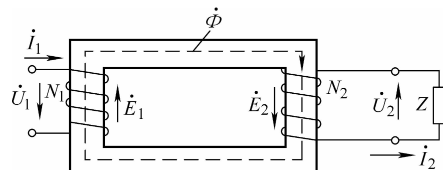


图 2-1　单相变压器原理

在闭合铁心回路的芯柱上绕有两个互相绝缘的绕组。与电源相连接的绕组叫一次绕组，其匝数为 N_1；与负载相连接的绕组叫二次绕组，其匝数为 N_2。

二、工作原理

1. 变压器二次侧开路

在一次侧施加交流电压为 $\dot{U}_1$（频率为 f）时，一次绕组流过的电流为 $\dot{I}_1$，则在铁心中产生交变的磁通 $\dot{\Phi}$。交变磁通穿过两个绕组，分别产生感应电动势 $\dot{E}_1$ 和 $\dot{E}_2$，其大小与频率 f，绕组的匝数（N_1 或 N_2）及主磁通的最大值 Φ_m（单位为 Wb）成正比，则

一次绕组的感应电动势为 $E_1=4.44fN_1\Phi_m$

二次绕组的感应电动势为 $E_2=4.44fN_2\Phi_m$

由以上两式可得

$$\frac{E_1}{E_2}=\frac{N_1}{N_2}=K \tag{2-1}$$

由于一次绕组的漏抗和电阻都比较小，空载时电流 I_1（称为空载电流 I_0）也很小，故可忽略由它们引起的电压降，则有 $U_1\approx E_1$；因二次侧此时开路，即 $I_2=0$，则 $U_2=E_2$，所以

$$\frac{U_1}{U_2}\approx\frac{E_1}{E_2}=\frac{N_1}{N_2}=K \tag{2-2}$$

式中，U_1、U_2 为一、二次绕组的端电压有效值；K 为单相变压器的电压比。

由上式可以看出，绕组匝数多的一侧电压高，匝数少的一侧电压低。由于变压器一、二次侧的绕组匝数不相等，故可起到变换电压的作用。当电源接至高压侧时，称该变压器为降压变压器；当电源接至低压侧时，称该变压器为升压变压器。

2. 变压器二次侧接负载

二次侧接通负载阻抗 Z 时，在感应电动势 $\dot{E}_2$ 的作用下，二次绕组将有电流 $\dot{I}_2$ 通过。该电流产生的磁通势 $\overline{F}_2$（即 $\dot{I}_2N_2$）也作用在同一铁心回路上，它有力图改变主磁通 Φ_m 大小的性质。但因主磁通 Φ_m 的大小在电源电压 $\dot{U}_1$ 不变的情况下是基本不变的，所以磁势 $\overline{F}_2$（$\dot{I}_2N_2$）的存在，只能引起一次侧电流的相应变化。负载运行时的一次侧电流可视为由两部

分组成：产生主磁通的励磁分量（即为空载电流 I_0）和由二次侧磁通势引起的负载分量（与 $\overline{F}_2$ 大小相等、相位相反）。若忽略相对很小的励磁分量电流 $\dot{I}_0$，在主磁路中有 $\overline{F}_1 = -\overline{F}_2$ 的磁通势平衡关系。由磁通势平衡关系，还可以得到一、二次侧电流关系式。若只考虑量值关系，则有

$$F_1 = F_2$$

$$I_1N_1 = I_2N_2$$

由上式可得

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{K}$$

综上所述

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = K \qquad (2\text{-}3)$$

变压器负载运行时一、二次电流与一、二次绕组的匝数成反比，这是变压器也能改变电流的道理。由于 $U_1 = KU_2$、$I_2 = KI_1$，则 $U_1I_1 = U_2I_2$，表明变压器一、二次绕组的功率基本相等（忽略损耗），这是变压器能够传递功率的道理。

3. 三相变压器的工作原理

三相变压器的工作原理与单相变压器的工作原理相同。三相变压器实际上是三个单相变压器的组合，其原理如图 2-2 所示。

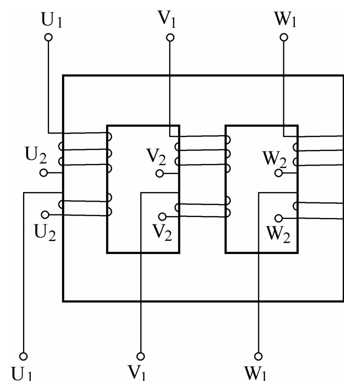


图 2-2　三相变压器的原理

三相变压器的电压、电流、绕组匝数有以下关系：

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = K \qquad (2\text{-}4)$$

式中，U_1 为一次电压单位为 V；U_2 为二次电压单位为 V；I_1 为一次电流单位为 A；I_2 为二次电流单位为 A；N_1 为一次绕组的匝数；N_2 为二次绕组的匝数；K 为电压比（或电流比）。

三相配电变压器高、低压侧的线电压、线电流应按具体接线方式推算。

第二节　配电变压器结构

一、配电变压器的外形结构

10/0. 4kV 配电变压器的外形结构如图 2-3 所示。

SBH16-M 型非晶合金配电变压器外形结构如图 2-4 所示。

二、油箱及冷却装置

在变压器油箱内，盛装变压器的铁心、绕组、变压器油。为了加强冷却，在油箱四周安装散热器及风扇，以扩大变压器的散热面积，加快变压器的冷却速度。

油箱内的变压器油起着绝缘和散热作用。变压器运行中铁心和绕组产生热量，使油加热，比重减小，升至油箱上部并进入散热器的上部，在散热管中散热冷却后，油温下降，比

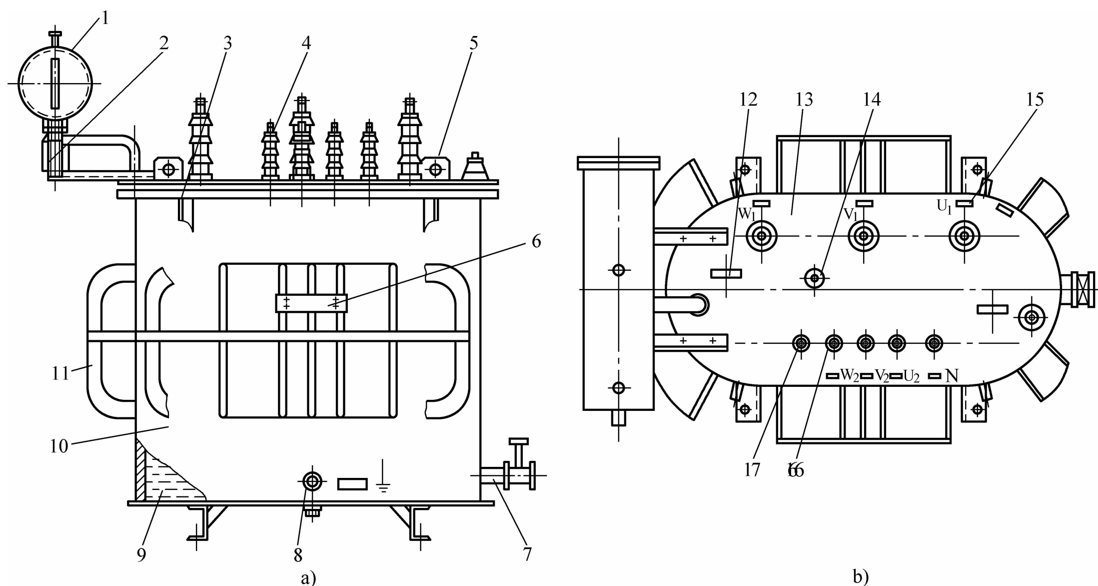


图 2-3　配电变压器的外形结构

1—储油柜　2—吸湿器　3—高压桩头　4—低压桩头　5—吊环　6—铭牌　7—放油阀　8—接地螺栓　9—变压器油　10—油箱　11—散热管　12—吊板　13—箱盖　14—分接开关　15—字牌（U_1、V_1、W_1、U_2、V_2、W_2、N）　16—低压桩头　17—水银温度计座

重增加，进入油箱下部，形成油的自然循环，不断地把绕组和铁心产生的热量带走。容量较大的变压器在散热器下部装有冷却风扇，对散热器上部进行风冷，以加快散热器上部油的冷却，可使油的自然循环速度加快，更有效地把热量散发到空气中去。

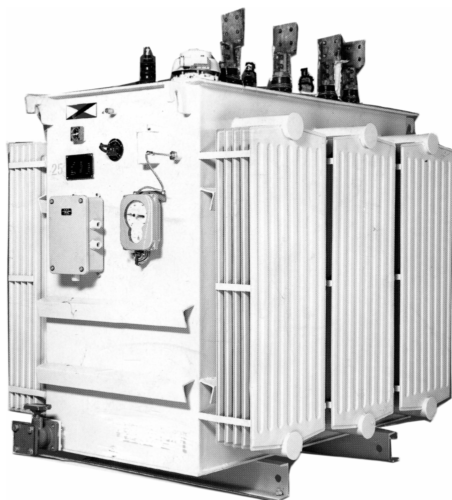


图 2-4　SBH16-M 型非晶合金配电变压器外形结构

三、变压器的器身

1. 铁心

铁心是变压器的主要部件之一，用以构成变压器的主磁路。由于铁心中的磁通是交变的，因此会产生磁滞损耗和涡流损耗。为降低变压器本体的电能损耗，变压器铁心都采用磁导率高涂有绝缘漆的硅钢片叠成。三相变压器的铁心通常为三柱式，直立部分叫铁心柱，横向部分叫铁轭，构成闭合的三相磁路。铁心采用全斜接缝交叠方式叠装，斜接缝可降低铁心柱到铁轭拐弯处的附加损耗。

SBH□系列配电变压器，采用非晶合金铁心，取代硅钢片铁心，大幅度降低了变压器的空载损耗，仅为 S9 系列产品的 25%。

2. 绕组

绕组也是变压器的主要部件之一，用以构成变压器的电路。绕组置于铁心柱之外，当铁

心柱内的磁通交变时便产生感应电动势。绕组是用具有高强度绝缘物的铜线或铝线绕成的，配电变压器的绕组多为圆筒形，按同心式方式排列，低压绕组靠近铁心柱，高压绕组套在低压绕组的外面。高、低压绕组之间以及低压绕组与铁心柱之间都用绝缘套筒绝缘。为了便于散热，在绕组之间还留有油道。

四、保护装置

1. 油枕（储油柜）

油枕在油箱的顶端，其容积为油箱容积的 8% ~10%，油枕和油箱之间有管子连通。油枕的作用是：①减少油和空气的接触，减少变压器油受潮和氧化的机会；②变压器油的体积随温度变化而膨胀或缩小时，油枕起着储油和补油的作用，使油面的升降限在油枕内。油枕装有呼吸器，使油枕上部空间和大气相通。油枕的侧面装有油标，指示变压器在运行时油量是否充足，同时也能判别油色是否正常。

2. 防爆管

防爆管（又称安全气道），如图 2-5 所示。顶部的防爆膜为一定厚度的玻璃或酚醛纸板。当变压器内部发生严重故障时，箱内油的压力骤增，可以冲破顶部的玻璃或酚醛纸板，使油和气体向外喷出，以防止油箱破裂。

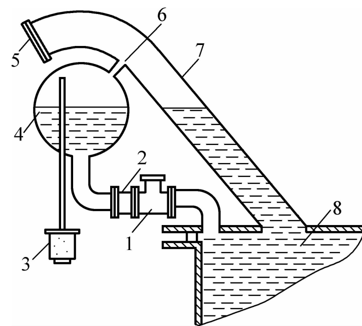


图 2-5　气体继电器安装位置
1—气体继电器　2—蝶阀　3—呼吸器　4—油枕　5—防爆膜　6—油枕与防爆管的连通管　7—防爆管　8—油箱

3. 温度计

温度计安装在变压器油箱上盖的测温筒内，用来测量油箱内上层油温，监视变压器运行温度，保证变压器的安全运行。配电变压器容量较小时，用水银温度计，配电变压器容量较大时，采用信号温度计，当变压器上层油温度上升到示位指针所整定的数值时，两对触头分别导通发出信号，告知值班人员或者起动冷却系统的自动控制装置，进行降温处理。

4. 气体继电器

气体继电器俗称瓦斯继电器，装在油箱或储油柜的连管中间，如图 2-5 所示。当变压器油面降低或有气体分解时，轻瓦斯保护动作，发出信号。当变压器内部发生严重故障时，重瓦斯保护动作接通断路器的跳闸回路，切除电源。另外，利用气体继电器还可以观察故障时分解出的气体颜色及数量，以分析判断变压器内部故障的情况。

5. 吸湿器

吸湿器又叫呼吸器，它的作用是使大气与储油柜内连通，并排除进入储油柜内的空气中的水分及杂质。吸湿器内装有硅胶，用以吸收进入储油柜中空气的潮气。呼吸器下端有一个油封装置，使空气不能直接进入储油柜内，以减少变压器油的受潮和氧化。当硅胶吸潮后颜色由蓝（或白）色变为淡红色，此时表明硅胶已失去吸潮能力，需及时更换新硅胶。变色后的硅胶在 140℃ 高温下烘焙 8h，使水分蒸发，硅胶又会还原成蓝色（或白色），可重新使用。

6. 净油器

净油器又称热虹吸过滤器，用以改善运行中变压器油的性能，防止油的迅速老化。其内装满吸附剂（硅胶），运行中的变压器油由于油箱内上、下有温差，可使变压器油从上向下经过装在变压器油箱一侧的净油器形成对流，油流过硅胶后，其中的水分、杂质、酸和氧化物就会被吸附剂吸收，从而使油净化，延长变压器油的运行周期。装置的投入或退出应根据

油质化验结果确定，以防止油的过度净化。

五、调压装置

1. 无载调压

无载调压是在变压器一、二次侧都脱离电源的情况下，变换高压侧分接头来改变其绕组匝数进行调压的。6～10kV 双绕组电力变压器多用三相中性点调压方式，如图 2-6 所示。电压的调节范围为额定电压的±5%。

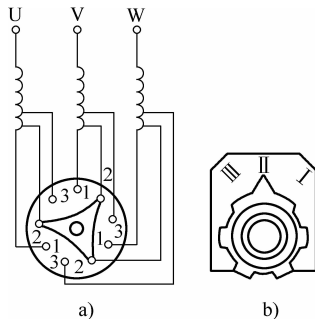


图 2-6　配电变压器调压分接开关
a）接线图　b）调压档位

当一次电压偏高时，可将分接开关换接到＋5%的分接头（Ⅰ档），当一次侧电压偏低时，可将分接开关换接到－5%的分接头（Ⅲ档），当一次电压接近额定电压时，分接开关接到额定档位（Ⅱ档），二次侧也可获得额定电压值。应该注意的是，在调档前后，应作直流电阻测量，防止触头在接触不良情况下工作而烧毁设备。

2. 有载调压

有载调压是利用有载分接开关，在保证不切断负载电流的情况下，变换高压绕组分接头，来改变其匝数进行调压的。有载调压变压器的抽头较多，调压范围较广。有载调压还有利于提高供电质量，还可用于网络之间负载分配的合理调整。

有载调压分接开关在变换分接头过程中，过渡电路常用电阻过渡式（电阻式有载分接开关），以电阻限制其换接抽头过程中的环流。

六、出线装置

为了将绕组的引出线从油箱内引到油箱外，使带电的引线穿过油箱时与接地的油箱之间保持一定的绝缘强度，常采用绝缘套管作为固定引线并与外电路连接的主要部件。

第三节　配电变压器铭牌及技术参数

每台配电变压器都有一块铭牌，铭牌上标出一系列技术参数，供使用时参考。

1. 型号

变压器的型号由两部分组成。第一部分是汉语拼音组成的符号，用以表示变压器的产品分类、结构特征和用途；第二部分是数字符号，斜线前表示额定容量（kV·A），斜线后表示高压侧电压等级（kV）。型号表示如下：

1　2　3　4　5—6—7—8/9

1—相数：D 表示单相，S 表示三相。

2—冷却方式：油浸自冷式不标示，C 表示干式浇注绝缘，G 表示干式空气自冷。

3—绕组型式：B 表示铜箔低压绕组。

4—铁心型式：H 表示非晶合金铁心。

5—设计序号：如 10、11、16。

6—调压方式：无载调压不标示，Z 表示有载调压。

7—密封型式：M 表示全密封。

8—额定容量：如 2500kV · A。

9—额定电压：高压绕组额定电压，单位为 kV。

例如，SBH16-M-2500/10 型为三相、铜箔低压绕组、非晶合金铁心、设计序号为 16、全密封、额定容量 2500kV · A、高压侧额定电压 10kV 的油浸式无载调压配电变压器。SCB9-Z-2500/10 型为三相、铜箔低压绕组、设计序号 9、额定容量 2500kV · A、高压侧额定电压 10kV 的干式有载调压配电变压器。

2. 额定电压、额定电压比、电压比

（1）额定电压 U_N：指变压器长时间运行时所规定的工作电压。铭牌上的 U_N 值，一次绕组的额定电压 U_{1N} 是指规定加在一次侧的电压值；二次绕组的额定电压 U_{2N} 指的是分接开关放在额定电压位置，一次侧加额定电压时，二次侧开路的电压值。对于三相变压器，额定电压指线电压，单位用 V 或 kV 表示。

（2）变压器的额定电压比：指高压绕组与低压绕组的额定电压之比，所以额定电压比 $K>1$。

（3）对单相变压器而言，变压器的电压比与额定电压比相等；对三相变压器而言，变压器的电压比与额定电压比不一定相等。电压比等于一、二次额定相电压之比，而额定电压比是指额定线电压之比。高压侧与低压侧接线方式相同时，两者相等；高、低压侧接线方式不同时，两者为 $\sqrt{3}$ 倍关系。

3. 额定电流

额定电流是指变压器在额定容量下允许长期通过的工作电流，可以根据相应绕组的额定容量和额定电压算出，对于三相变压器，额定电流指的是线电流，单位用 A 或 kA 表示。

（1）对于单相电力变压器

$$I_N = \frac{S_N}{U_N} \tag{2-5}$$

（2）对于三相电力变压器

$$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_N} \tag{2-6}$$

4. 额定容量

额定容量是指变压器在额定工况下连续运行时二次侧输出视在功率的保证值，单位用 kV · A 表示。由于变压器正常运行时功率损耗很小，故可认为一、二次侧的额定容量相等。对三相变压器是指三相的总容量。

（1）对于单相电力变压器

$$S_N = U_N I_N \times 10^{-3} \tag{2-7}$$

（2）对于三相电力变压器

$$S_N = \sqrt{3}U_N I_N \times 10^{-3} \tag{2-8}$$

式中，U_N 为变压器的额定电压，单位为 V；I_N 为变压器的额定电流，单位为 A；S_N 为额定容量（视在功率），单位为 kV · A。

5. 阻抗电压

阻抗电压以百分数表示。是当变压器一、二次的电流均为额定电流时，两侧绕组漏阻抗

产生的电压降占额定电压的百分数。

阻抗电压（百分数）也叫短路电压（百分数），测试时将变压器的二次绕组短路，缓慢升高一次侧电压，当一次侧的电流达到额定值时，此时在一次侧所施加的电压 U_k 叫短路电压。在变压器铭牌上通常用 U_k 对一次侧额定电压 U_N 比值的百分数来表示，即

$$U_k\% = \frac{U_k}{U_N} \times 100\% \tag{2-9}$$

6. 分接范围

分接范围又称调压范围。是调节电压的最大、最小值的范围，以百分数表示。额定电压为 100%，若电压调节范围为（$100 + a \sim 100 - b$）内，则分接范围为 $+a\%$ 至 $-b\%$。一般 $a = b$，故分接范围表示为 $\pm a\%$。

7. 负载损耗

负载损耗又称铜损耗。是变压器负载电流流过一、二次绕组时，在绕组电阻上消耗的功率。它包括基本铜损耗（决定于绕组的直流电阻值）和附加损耗（由于漏磁沿线匝的截面和长度分布不均匀而在导线中产生的附加铜损耗）两部分。按规定负载损耗应为变压器运行温度为 75℃时的损耗值。

测量变压器铜损时是将二次绕组短路，在一次绕组额定分接头位置上接入低电压，使电流为额定电流，此时测得的功率为电力变压器负载损耗的功率 ΔP_k（铜损）。测量数据应换算为 75℃时的数值标于铭牌上，单位为 W 或 kW。

8. 空载损耗

变压器在额定电压下，二次侧空载时，一次侧测得的功率称为空载损耗。空载损耗实为铁损，包括铁心产生的磁滞损耗和涡流损耗。其大小与变压器铁心硅钢片的性能及制造工艺有关。而与负载电流的大小无关。空载损耗的数值虽小，但因变压器的数量大且常年接在电路中，所以减少空载损耗的意义十分重大，空载损耗单位为 W 或 kW。

9. 空载电流

当变压器二次侧空载时，在一次侧加额定电压所测得的电流 I_0 称空载电流。因它仅起励磁作用，故又称励磁电流，基本为无功性质。一般以额定电流的百分数表示，即

$$I_0\% = \frac{I_0}{I_N} \times 100\% \tag{2-10}$$

10. 温升

变压器线圈或上层油面的温度与变压器环境的温度之差，称为线圈或上层油面的温升。国家规定，当变压器安装地点的海拔不超过 1000m 时，对于 A 级绝缘等级的变压器，绕组极限工作温度为 105℃，由于绕组的平均温度比油温高出 10℃，所以规定变压器上层油面的温度不得超过 95℃。如果环境温度不超过 40℃，则变压器上层油面温升限值为 55℃，为了不使变压器油迅速老化、变质，规定变压器上层油面温度，一般不得超过 85℃。绝缘材料耐热等级一般有 6 级，见表 2-1。对于绝缘等级不是 A 级的变压器，其温升限值可增加。

表 2-1　绝缘材料耐热等级

绝缘耐热等级	A	E	B	F	H	C
耐热温度/℃	105	120	130	155	180	220

11. 极性

变压器铁心中的交变主磁通，在一、二次绕组中产生的感应电动势是交变电动势。这里所说的极性，是指一、二次绕组的相对极性，也就是当一次绕组的某一端子瞬时电位为正时，二次绕组同时也有一个电位为正的对应端子，这时称这两个对应端子为变压器绕组的同极性端，或者叫做同名端。

国家标准规定了绕组端子的标志，用 1U1、1V1、1W1 表示高压绕组的首端，用 1U2、1V2、1W2 表示高压绕组的末端。用 2U1、2V1、2W1 表示低压绕组的首端，用 2U2、2V2、2W2 表示低压绕组的末端。

12. 联结组标号

变压器同一侧的绕组是按一定方式连接的。三相变压器每侧都有三相绕组，一般有星形（用 Y 表示）和三角形（用 D 表示）两种连接方式表明，两侧三相绕组采用不同的连接方式，将使两侧对应线电压具有不同的相位关系。表明两侧绕组连接方式及对应线电压相位关系的标志，就是变压器的联结组标号。联结组标号采用“时钟”表示法，即以变压器高压侧的线电压相量作为时钟的长针（分针），并将它固定在钟面的“12”上，以低压侧对应的线电压相量作为时钟的短针（时针），它所指示的时数即为变压器绕组的联结组标号。

配电变压器最常用的接线组别是 Yyn0，Y 表示高压三相绕组接成星形，即绕组的三个首端引出，三个末端接在一起；yn 表示低压三相绕组也接成星形，并引出中性线，即绕组三个首端及中性线引出，三个末端接在一起。0 表示高、低压侧对应线电压是同相位的。这种连接组别的接线图及电压相量图如图 2-7 所示，因高、低压各相绕组均以同极性端作为首端，则相电压 $\dot{U}_{1U}$、$\dot{U}_{1V}$、$\dot{U}_{1W}$与对应的 $\dot{U}_{2U}$、$\dot{U}_{2V}$、$\dot{U}_{2W}$同相位，若用高压绕组线电压 $\dot{U}_{1U,1V}$作为长针指向钟面 12，则低压绕组相应线电压 $\dot{U}_{2U,2V}$作为短针，从相量图可看出 $\dot{U}_{2U,2V}$也是指向 12，两个线电压相位差为 0°。此种接法的配电变压器，既可给三相动力负载供电，也可给单相照明负载供电。

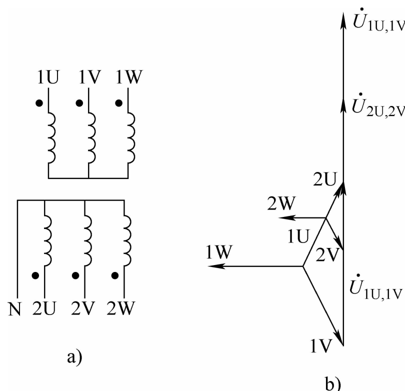


图 2-7　Yyn0 联结组
a）接线图　b）相量图

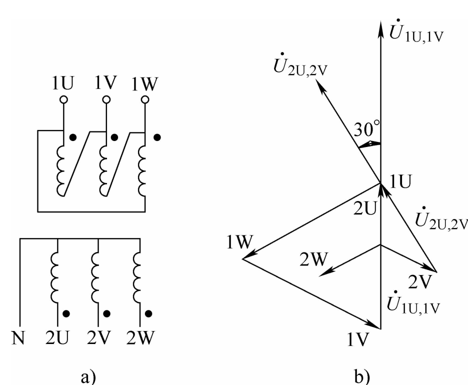


图 2-8　Dyn11 联结组
a）接线图　b）相量图

配电变压器联结组标号为 Dyn11 时，接线如图 2-8a 所示。10kV 侧线电压 $1\dot{U}_{1U,1V}$与 0.4kV 侧线电压 $2U_{2U,2V}$相位差为 30°。

第四节　油浸式配电变压器

一、SBH11-M 型配电变压器

1. 概述

SBH11-M 型非晶合金配电变压器，可取代硅钢片铁心的配电变压器，广泛用于户外的配电系统。该变压器大量入网运行可取得良好的节能效果，并可减少对大气的污染。特别适用于电能不足和负荷波动大以及难以进行日常维护的地区。由于变压器采用全密封结构，绝缘油和绝缘介质不受大气污染，因而可在潮湿的环境中运行，是城市和农村广大配电网络中理想的配电设备。

2. 主要特点

1）配电变压器额定容量为 100kV·A、315kV·A、500kV·A、800kV·A、1000kV·A、1600kV·A 的 S9 系列配电变压器空载损耗分别为 290W、670W、960W、1400W、1700W、2400W。SBH11-M 系列非晶合金配电变压器的空载损耗分别为 75W、170W、240W、380W、450W、630W，SBH16-M 系列非晶合金配电变压器的空载损耗分别为 58W、130W、190W、280W、330W、470W。由此可知，SBH11-M 系列配电变压器空载损耗比 S9 系列的平均降低 74%。SBH16-M 系列配电变压器空载损耗比 S9 系列的平均降低 80%，比 SBH11-M 系列的平均降低 24.2%。

2）变压器低压采用铜箔线圈，增强变压器承受短路的能力。

3）变压器联结组采用 Dyn11，减少谐波对电网的影响，改善供电质量。

4）油箱和箱盖焊为一体的全密封结构，延长使用寿命，免维修。

5）变压器采用真空注油，可完全排除线圈中气泡，确保绝缘性能稳定。

6）每台变压器出厂前都进行峰值电压高于国家标准 25% 的全波雷电冲击试验，确保变压器安全可靠运行。

3. 技术参数

SBH11-M 型非晶合金配电变压器的技术参数见表 2-2。

表 2-2　SBH11-M 型非晶合金配电变压器的技术参数

型号	电压组合			联结组标号	空载损耗/W	负载损耗/W	空载电流（%）	阻抗电压（%）	长 L/mm	高 H/mm	宽 B/mm	安装底座中心（$L_2 \times L_1/4-\phi D$）/mm	油重/kg	总重/kg
	高压/kV	高压分接范围（%）	低压/kV											
SH11-M-50/10	6 6.3 6.6 10 10.5 11	±2×2.5 3×2.5 −1×2.5	0.4	Dyn11 Yyn0	43	870	1.30	4	945	1040	620	400×550/4−ϕ14	160	680
SH11-M-100/10					75	1500	1.00	4	1055	1070	766	400×660/4−ϕ14	190	890
SBH11-M-160/10					100	2200	0.70	4	1280	1195	920	550×870/4−ϕ19	290	1170
SBH11-M-200/10					120	2600	0.70	4	1240	1200	920	550×870/4−ϕ19	270	1230
SBH11-M-250/10					140	3050	0.70	4	1340	1200	940	660×870/4−ϕ19	300	1400
SBH11-M-315/10					170	3650	0.50	4	1255	1200	920	660×870/4−ϕ19	302	1540
SBH11-M-400/10					200	4300	0.50	4	1370	1260	1120	660×1070/4−ϕ19	360	1720
SBH11-M-500/10					240	5150	0.50	4	1370	1330	1120	660×1070/4−ϕ19	355	2000
SBH11-M-630/10					320	6200	0.30	4.5	1520	1355	1185	820×1070/4−ϕ19	440	2400
SBH11-M-800/10					380	7500	0.30	4.5	1885	1470	1215	820×1070/4−ϕ19	630	2950
SBH11-M-1000/10					450	10300	0.30	4.5	1955	1550	1310	820×1070/4−ϕ19	680	3500
SBH11-M-1250/10					530	12000	0.20	4.5	2025	1660	1310	820×1070/4−ϕ19	790	4100
SBH11-M-1600/10					630	14500	0.20	4.5	2535	1795	1345	820×1070/4−ϕ19	1105	5550
SBH11-M-2000/10					750	17400	0.20	5	2080	1965	1540	850×1475/4−ϕ19	1310	6150
SBH11-M-2500/10					900	20200	0.20	5	2560	2375	1685	1070×1475/4−ϕ19	1990	8600

注：50kV·A 及100kV·A 低压为非箔式绕组。

SBH11-M 型非晶合金配电变压器的绝缘水平见表 2-3。

表 2-3　SBH11-M 型非晶合金配电变压器的绝缘水平

电压等级/kV	设备最高电压有效值/kV	额定短时(1min)工频耐受电压有效值/kV	额定雷电冲击耐受电压全波峰值/kV
≤1	≤1.1	5	—
6	7.2	25	75
10	12	35	95

二、SBH16-M 型配电变压器

SBH16-M 型非晶合金配电变压器的技术参数见表 2-4。

表 2-4　SBH16-M 型非晶合金配电变压器的技术参数

型号	电压组合			联结组标号	空载损耗/W	负载损耗/W	空载电流(%)	阻抗电压(%)	长 L/mm	高 H/mm	宽 B/mm	安装底座中心($L_2 \times L_1/4-\phi D$)/mm	油重/kg	总重/kg
	高压/kV	高压分接范围(%)	低压/kV											
SH16-M-50/10					38	870	0.9	4.0	950	1040	620	400×550/4－ϕ14	160	680
SH16-M-100/10					58	1500	0.7	4.0	1060	1070	770	400×660/4－ϕ14	190	890
SBH16-M-160/10	6				78	2200	0.5	4.0	1060	1150	930	400×870/4－ϕ19	250	1190
SBH16-M-200/10					90	2600	0.5	4.0	1110	1170	930	550×870/4－ϕ19	270	1300
SBH16-M-250/10	6.3				110	3050	0.5	4.0	1180	1180	1010	550×870/4－ϕ19	300	1460
SBH16-M-315/10	6.6	±2×2.5			130	3650	0.4	4.0	1180	1180	1010	550×870/4－ϕ19	240	1400
SBH16-M-400/10	10				160	4300	0.4	4.0	1200	1180	1010	550×870/4－ϕ19	280	1660
SBH16-M-500/10			0.4	Dyn11 Yyn0	190	5150	0.4	4.0	1270	1200	1160	660×1070/4－ϕ19	300	1950
SBH16-M-630/10		3×2.5 －1×2.5			230	6200	0.3	4.5	1450	1330	1240	820×1070/4－ϕ19	480	2450
SBH16-M-800/10	10.5				280	7500	0.3	4.5	1520	1460	1380	820×1070/4－ϕ19	520	2900
SBH16-M-1000/10	11				330	10300	0.3	4.5	1720	1510	1460	820×1070/4－ϕ19	680	3500
SBH16-M-1250/10					390	12000	0.2	4.5	1785	1690	1330	820×1070/4－ϕ19	800	3980
SBH16-M-1600/10	(20)				470	14500	0.2	4.5	1880	1970	1380	820×1070/4－ϕ19	850	5300
SBH16-M-2000/10					570	17400	0.2	5.0	2080	1965	1540	820×1475/4－ϕ19	1310	6150
SBH16-M-2500/10					680	20200	0.2	5.0	2400	2350	1500	820×1475/4－ϕ19	1850	8200

第五节　干式配电变压器

一、概述

干式配电变压器，具有空载损耗低、无油、阻燃自熄、耐潮、抗裂和免维护等优点，可用于高层建筑、商业中心、地铁、机场、车站、工矿企业等配电场所。

该变压器低压为箔式绕组，采用铜箔绕制，高压绕组用 H 级高强度漆包线绕制，采用玻璃纤维加强的环氧树脂包封结构，具有优良的耐潮和抗裂性能。铁心由非晶合金晶带材卷制而成，采用矩形截面，四框五柱或三框三柱式结构。

二、干式配电变压器的分类

干式变压器的分类有很多种方法，如按型号分为：SC（环氧树脂浇注包封式）、SCR

(非环氧树脂浇注固体绝缘包封式)、SG(敞开式)等,按绝缘等级分为:B 级、F 级、H 级、C 级等,国外有些国家在 H 级和 C 级之间还设有一个 N 级,它们的温度限制值见表 2-5。

表 2-5　各绝缘耐热等级的温度限制值

绝缘的温度等级	A 级	E 级	B 级	F 级	H 级	N 级	C 级
最高允许温度/℃	105	120	130	155	180	200	220
绕组温升限值/K	60	75	80	100	125	135	150
性能参考温度/℃	80	90	100	120	120	155	170

干式变压器有无励磁调压（如三相 SG 系列和单相 DG 系列）干式变压器、SCL 系列环氧树脂浇注干式变压器、SCZ 系列干式有载调压变压器等，按不同外形结构又可分为有箱（封闭式）和无箱（非封闭）式两种，箱体有铁板结构和铝合金结构两种。

干式变压器分为浸渍式和包封式两大类，但也有的将干式变压器以绕组结构分空气自冷、环氧浇注和树脂绕包三大类。空气自冷又分非封闭式（开启式）和封闭式两种。环氧浇注又可分为带填料的厚绝缘浇注和用玻璃纤维加强的薄绝缘浇注两种，即树脂加填料浇注和树脂浇注两种。树脂绕包式又称缠绕式树脂包封。

三、SCBH10 型干式配电变压器

1. 技术参数

SCBH10 型非晶合金干式配电变压器的技术参数见表 2-6。

表 2-6　SCBH10 型非晶合金干式配电变压器的技术参数

<table>
<tr><th rowspan="2">容量
/kV·A</th><th colspan="3">电 压 组 合</th><th rowspan="2">联结组
标号</th><th rowspan="2">空载损耗
/W</th><th rowspan="2">空载电流
(%)</th><th rowspan="2">负载损耗
(120°C)/W</th><th rowspan="2">阻抗电压
(120°C)(%)</th></tr>
<tr><th>高压/kV</th><th>高压分接范围(%)</th><th>低压/kV</th></tr>
<tr><td>100</td><td rowspan="12">6
6.3
6.6
10
10.5
11</td><td rowspan="12">±2×2.5
$^{+3}_{-1}\times2.5$</td><td rowspan="12">0.4</td><td rowspan="12">Dyn11
Yyn0 *</td><td>130</td><td>0.8</td><td>1570</td><td rowspan="8">4</td></tr>
<tr><td>160</td><td>170</td><td>0.8</td><td>2125</td></tr>
<tr><td>200</td><td>200</td><td>0.7</td><td>2525</td></tr>
<tr><td>250</td><td>230</td><td>0.7</td><td>2755</td></tr>
<tr><td>315</td><td>280</td><td>0.6</td><td>3470</td></tr>
<tr><td>400</td><td>300</td><td>0.6</td><td>3985</td></tr>
<tr><td>500</td><td>360</td><td>0.6</td><td>4880</td></tr>
<tr><td>630</td><td>420</td><td>0.5</td><td>5875</td></tr>
<tr><td>800</td><td>480</td><td>0.5</td><td>6955</td><td rowspan="4">6</td></tr>
<tr><td>1000</td><td>550</td><td>0.4</td><td>8125</td></tr>
<tr><td>1250</td><td>660</td><td>0.4</td><td>9690</td></tr>
<tr><td>1600</td><td>750</td><td>0.4</td><td>11730</td></tr>
</table>

注：带“*”的联结组 Yyn0 适用于容量不大于 400kV · A 的变压器。

配电变压器的性能参数见表 2-7。

表 2-7　配电变压器的性能参数

名　　称	参　　数	名　　称	参　　数
相数	3 相	绝缘耐热等级	F 级
频率/Hz	50	绕组平均温升/K	≤100
局部放电/PC	≤10	噪声水平	声级符合 JB/T 10088—2004

配电变压器的绝缘水平见表 2-8。

表 2-8　配电变压器的绝缘水平

电压等级 /kV	设备最高电压有效值 /kV	额定短时(1min)工频耐受电压有效值/kV	额定雷电冲击耐受电压全波峰值/kV
≤1	≤1.1	3	—
6	7.2	25	60
10	12	35	75

2. 外形结构及安装尺寸

SCBH10 型干式配电变压器的外形结构如图 2-9 所示。外形结构尺寸见表 2-9。

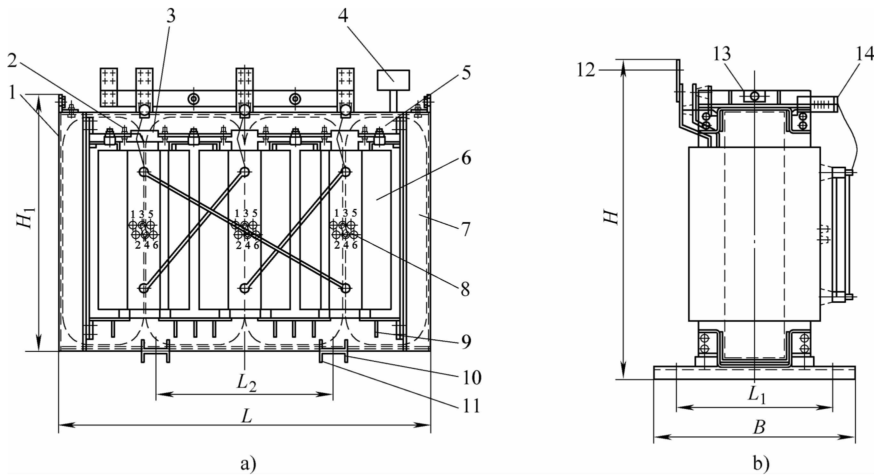


图 2-9　SCBH10 型干式配电变压器的外形结构

a）正视图　b）侧视图

1—铭牌　2—压钉　3—非晶合金铁心　4—温控仪　5—上夹件　6—线圈
7—端夹件　8—高压分接端子　9—下夹件　10—接地螺栓　11—底座
12—低压接线端子　13—吊攀　14—高压接线端子

表 2-9　SCBH10 型干式配电变压器的外形结构尺寸

型　号	尺寸/mm					总质量/kg
	L	B	H	H_1	$L_2 \times L_1$/4—ϕ26	
SCBH10-315/10	1430	970	1210	1095	660×660/4—ϕ26	1800
SCBH10-400/10	1430	970	1380	1265	660×660/4—ϕ26	2150
SCBH10-500/10	1650	970	1275	1130	820×660/4—ϕ26	2530
SCBH10-630/10	1730	970	1430	1240	820×660/4—ϕ26	3000
SCBH10-800/10	1925	970	1490	1215	820×660/4—ϕ26	3400
SCBH10-1000/10	1925	970	1520	1335	820×660/4—ϕ26	4020
SCBH10-1250/10	1955	1070	1605	1365	820×820/4—ϕ26	4790
SCBH10-1600/10	2050	1070	1780	1455	1070×820/4—ϕ26	5780

四、SCB9-Z 型干式有载调压配电变压器

1. 技术参数

SCB9-Z 型干式有载调压配电变压器技术参数见表 2-10。

表 2-10　SCB9-Z 型干式有载调压配电变压器技术参数

型　　号	电压组合				联结组标号	P_0	P_K（75℃时）	I_0	U_K	G_t
	高压/kV	高压分接范围（%）	低压/kV	低压分接范围（%）		W	W	%	%	kg
SCB9-Z-250/10	11 10.5 10 6.6 6.3 6.0	±4×2.5%	0.4	±4×2.5%	Dyn11 Yyn0	800	2790	0.7	4	1664
SCB9-Z-315/10						900	3330	0.7		1840
SCB9-Z-400/10						1000	3920	0.7		2040
SCB9-Z-500/10						1250	4760	0.7		2320
SCB9-Z-630/10						1380	5660	0.5		2720
SCB9-Z-800/10						1600	6830	0.5	6	3100
SCB9-Z-1000/10						1700	8090	0.5		3550
SCB9-Z-1250/10						2200	9740	0.5		4160
SCB9-Z-1600/10						2500	11470	0.4		5050
SCB9-Z-2000/10						3200	14060	0.4		5750
SCB9-Z-2500/10						4000	16740	0.4		6780

2. 外形结构及安装尺寸

SCB9-Z 型干式配电变压器外形结构如图 2-10 所示，外形结构尺寸见表 2-11。

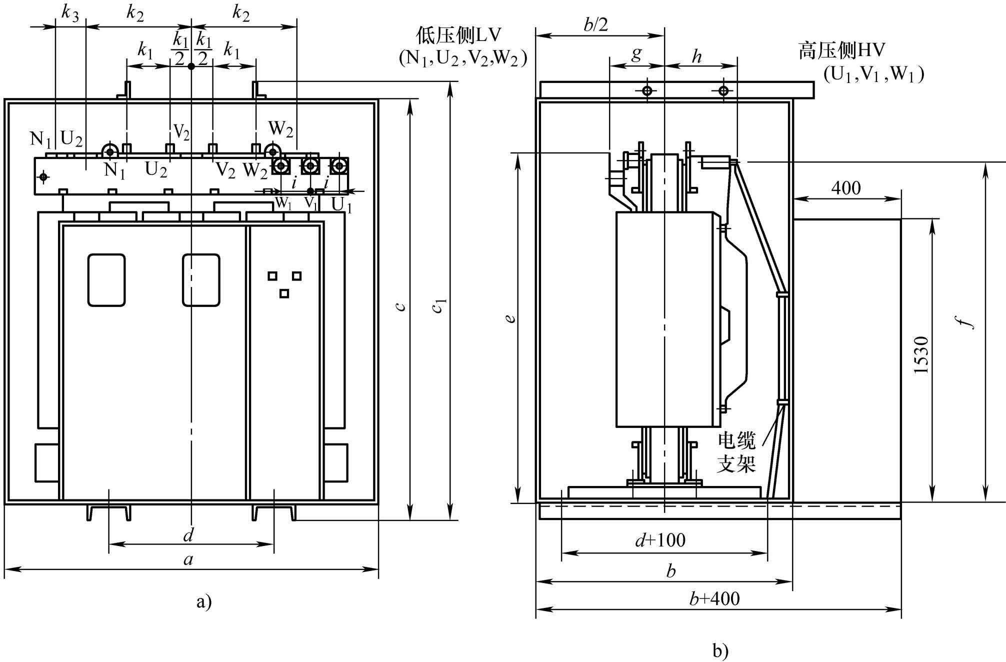


图 2-10　SCB9-Z 型干式有载调压配电变压器外形结构

a）正视图　b）俯视图

注：SCB9-Z 型配电变压器低压端子 N、U_2、V_2、W_2 为对称结构，图中只含 k_1；SCB9-Z 型产品低压出线端子 N、U_2、V_2、W_2 为不对称结构图中含 k_2、k_3 参数。

表 2-11　SCB9-Z 型干式有载调压配电变压器的外形结构尺寸

型　号	尺寸/mm													
	a	b	c	c_1	d	e	f	g	h	i	k_1	k_2	k_3	D
SCB9-Z-250/10	1600	1250	1663	1738	660	1358	1199	277	375	160	200	/	/	18
SCB9-Z-315/10	1600	1250	1663	1738	660	1437	1339	277	375	160	200	/	/	18
SCB9-Z-400/10	1600	1250	1663	1738	660	1437	1339	287	375	160	200	/	/	18
SCB9-Z-500/10	1800	1350	1863	1938	660	1502	1389	292	385	160	200	/	/	18
SCB9-Z-630/10	1800	1350	1863	1938	660	1612	1499	299	390	160	200	/	/	18
SCB9-Z-800/10	2000	1400	1863	1953	820	1541	1428	336	410	160	270	/	/	18
SCB9-Z-1000/10	2000	1400	1863	1953	820	1540	1500	275	355	200	/	520	180	18
SCB9-Z-1250/10	2150	1450	2063	2153	820	1660	1612	284	360	200	/	545	180	22
SCB9-Z-1600/10	2300	1500	2200	2290	820	1746	1695	337	370	200	/	600	190	22
SCB9-Z-2000/10	2300	1500	2200	2290	820	1887	1824	345	380	200	/	620	195	22
SCB9-Z-2500/10	2400	1550	2200	2290	820	1946	1867	374	420	200	/	680	200	22

第六节　变压器温度控制

一、油浸式变压器的温度控制

1. 概述

油浸式变压器绕组平均温升值是 65℃，顶部油温升是 55℃，铁心和油箱是 80℃。

BWY（WTYK）-802G、803G 型变压器温度控制器，用于容量 1000kV · A 及以上变压器，测量变压器顶层油温，并当温度超过设定值时，起动冷却装置和报警装置。

BWY（WTYK）系列温度控制器的外形及安装尺寸如图 2-11 所示。

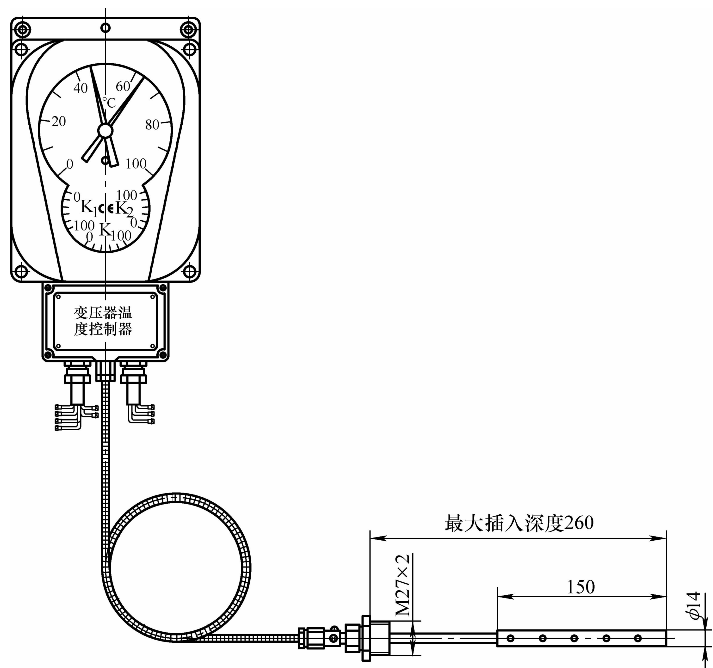


图 2-11　BWY（WTYK）系列温度控制器外形及安装尺寸

2. 技术参数

1）正常工作条件：-40～55℃。

2）测量范围：-20～80℃、0～100℃、0～120℃、0～150℃。

3）指示准确度：1.5 级。

4）控制性能：①设定范围：全量程可调。②设定准确度：±3℃。③开关差：6℃ ±2℃。④额定功率：AC250V/3A。⑤标准设定值：802：K_1 = 55℃；K_2 = 80℃。803：K_1 = 55℃；K_2 = 65℃；K_3 = 80℃。

3. 注意事项

1）温控器检验时温包必须全部浸入在恒温槽内，表头必须垂直安装。若在常温空气中，就不能严格按 1.5 级准确度来考核。

2）温控器接线和安装过程中均应小心轻放，请严格按说明书要求进行。

3）打开表盖时，请使用梅花扳手。合盖时四点均匀对称拧紧，以免影响仪表密封性。

4）安装时，多余毛细管应盘为直径 150mm 以上环圆状。每隔 300mm 应对护套毛细管做适当的固定（如用细铜丝扎结等）。

5）数显仪的检验可根据 Pt100 分度值采用标准电阻箱作为信号输入也可与温控器连接后在恒温槽内进行。

6）现场安装时，必须注意温包应插入有油的套管内，温包进入有油的套管内深度至少不应小于 150mm。

7）有油的套管不能混入水，这是因为当套管中如果有水，当环境温度低于 0℃时，这时变压器如果不工作，套管中水结冰膨胀，压迫温包，致使温控器指示不准确。因此，安装温包时要注意做好密封，以防雨水进入。

二、干式变压器的温度控制

1. 简介

干式变压器的绝缘耐热等级（热寿命等级）取决于线圈所用的绝缘材料。现国内树脂浇注干式变压器绝缘材料多采用 F 级环氧树脂，所以其产品的极限耐热温度为 155℃，满负荷最高安全运行温度为 140℃（环境温度允许最高为 40℃，海拔 1000m 以下）。在某些特殊场合，变压器因经常长期过负荷运行或环境温度偏高等原因，可能发生变压器运行温升偏高，这种情况势必导致变压器预期寿命急速下降。

干式变压器采用 H 级环氧树脂，其极限耐热温度为 180℃，满负荷最高安全运行温度为 165℃，同样在设计温升 100K 的条件下，留有更多的裕度。显然，采用 H 级绝缘材料生产的干式变压器（温升按 F 级考核）更可靠、更安全。

2. 温度控制系统

1）温控器采用传感器（Pt100）采集变压器温度信号，监控变压器线圈温度，提高了系统的可靠性。

2）抗干扰性能安全满足 JB/T 7631—2005《变压器用电阻温度计》要求。

3）可按用户需要提供带计算机接口等其他功能的温控器。

4）嵌入式安装，简洁实用方便。带外壳（IP20）产品：直接装在外壳板上。不带外壳（IP00）产品：可装在变压器本体上，或安全护栏上。

干式变压器温度控制系统原理如图 2-12 所示。

3. 强迫风冷系统

1）干式变压器冷却方式分为自然空气冷却（AN）和强迫空气冷却（AF）。

2）自然空气冷却（AN）时，正常使用条件下，变压器可连续输出 100% 的额定容量。

3）强迫空气冷却（AF）时，正常使用条件下，变压器可输出 150% 的额定容量。适用于各种急救过负荷或断续过负荷运行。由于负载损耗和阻抗电压增幅较大，不推荐强迫空气冷却（AF）长时间连续过负荷运行。

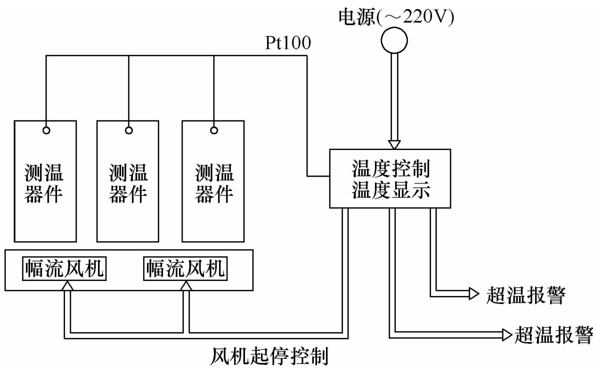


图 2-12　干式变压器温度控制系统原理

4）对自然空气冷却（AN）和强迫空气冷却（AF）的变压器，均需保证变压器室具有良好的通风能力。当变压器安装在地下室或其他通风能力较差环境时，须增设散热通风装置，通风量按每 1kW 损耗（$P_o + P_k$）需 3～4m^3/min 风量选取。

5）常规容量变压器风机数量，功率及电源配置见表 2-12。

表 2-12　干式变压器风机数量及功率配置

变压器容量/kV · A	250～500	630～800	1000～1250	1600～2500	≥3150
风机数量/功率/台/W	2/55	6/50	6/75	6/90	8～12/90
风机电源	～220V	～220V	～220V	～220V	～220V

4. 变压器过负荷

干式变压器 F 级绝缘过负荷曲线如图 2-13 所示，H 级绝缘过负荷曲线如图 2-14 所示。

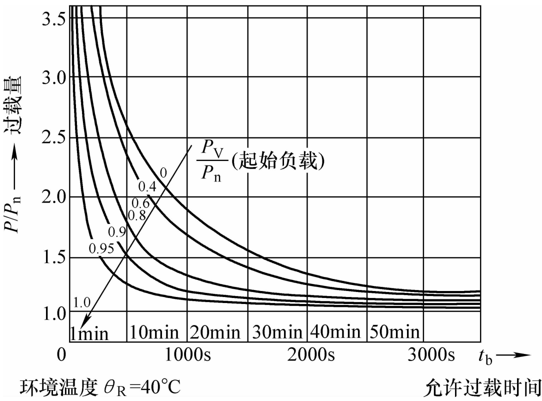


图 2-13　F 级绝缘过负荷曲线

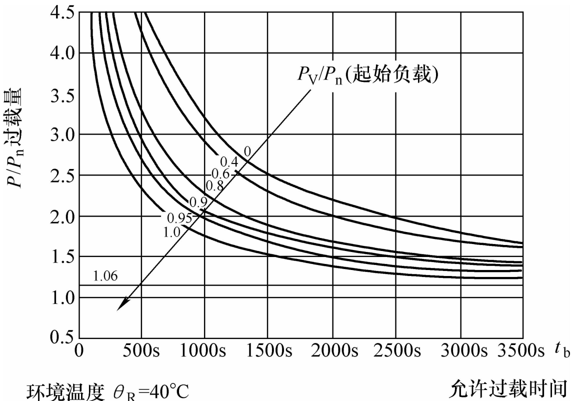


图 2-14　H 级绝缘过负荷曲线

第七节　配电变压器的室内安装

一、配电变压器安装位置的选定

正确安装变压器是保证变压器安全运行的重要条件之一。变压器安装的方法有多种，但概括起来可以分为两大类：室内和室外。从总的原则来说，不管是室内安装还是室外安装，都要合理地确定变压器的安装位置。在确定安装位置时要考虑便于运行、检修和运输，同时应选择安全可靠的地方。因此，要满足下列几方面的要求：

1）变压器安装在其供电范围的负荷中心，且供电半径为 0.5km。投入运行时的线路损耗最少，并能满足电压质量的要求。

2）变压器安装位置必须安全可靠，并且便于运输和吊装、检修，同时应符合城市、乡村发展规划的要求。

3）变压器需要单独安装在台杆上时，下述电杆不能安装变压器：①大转角杆，分支杆和装有柱上断路器、隔离开关、高压引下线及电缆的电杆；②低压架空线及接户线多的电杆；③不易巡视、检查、测负荷和检修吊装变压器的电杆。

4）应避开蒸汽等温度及湿度较高的场所，并且应远离炉火等高温场所。

5）应远离储存爆炸物及可燃物的仓库。

6）应远离盐雾、腐蚀性气体及灰尘较多的场所。

7）应选择在涨潮或河水泛滥等情况下不被水淹的场所。

8）应选择在没有剧烈振动的场所。

9）应选择坚固的地基。

二、配电变压器室的最小尺寸

配电变压器室的最小尺寸根据变压器外形尺寸和变压器外廓至变压器室四壁应保持的最小距离而定，油浸变压器外廓与变压器室墙壁和门的最小净距，应符合表 2-13 的规定。

表 2-13　油浸变压器外廓与变压器室墙壁和门的最小净距　（单位：mm）

变压器容量/kV·A	100 ~ 1000	1250 及以上
变压器外廓与后壁、侧壁净距	600	800
变压器外廓与门净距	800	1000

设置于变电所内的非封闭式干式变压器，应装设高度不低于 1.7m 的固定遮栏，遮栏网孔不应大于 40mm × 40mm。变压器的外廓与遮栏的净距不宜小于 0.6m，变压器之间的净距不应小于 1.0m。

配电变压器室面积应有更换为加大一至二级配电变压器容量的余地。

200 ~ 1600kV · A 配电变压器室尺寸见表2-14，通风窗尺寸见表 2-15；配电变压器宽面推进如图 2-15a 所示，其窄面推进如图 2-15b 所示。

变压器室的布置与变压器的安装方式有关，变压器的安装方式有宽面推进安装和窄面推进安装。当变压器为宽面推进安装时，其优点是通风面积大；其缺点是低压引出母线需要翻高，变压器底座轨距要与基础梁的轨距严格对准；其布置特点是开间大、进深浅，变压器的低压侧应布置在靠外边，即变压器的油枕位于大门的左侧。当变压器为窄面推进安装时，其

优点是不论变压器有何种形式底座均可顺利安装；其缺点是可利用的进风面积较小，低压引出母线需要多做一个立弯；其布置特点是开间小、进深大，但布置较为自由，变压器的高压侧可根据需要布置在大门的左侧或右侧。

表 2-14　配电变压器室尺寸表

额定容量/kV·A	阻抗电压(%)	空载损耗/kW	负载损耗/kW	变压器室最小尺寸/mm			
				宽面推进		窄面推进	
				室宽 B	室深 A	室宽 B	室深 A
200	4	0.33	3.06	3100	2700	2500	3300
250		0.40	3.49	3100	2900	2700	3300
315		0.48	4.17	3200	2900	2700	3500
400		0.57	5.10	3500	2900	2700	3700
500		0.68	6.08	3500	2900	2700	3700
630	4.5	0.81	7.23	3600	3100	2900	3800
800		0.98	8.84	4100	3100	2900	3800
1000		1.16	10.37	4200	3100	2900	4100
1250		1.37	12.33	3900	3200	3000	4100
1600		1.65	14.71	4000	3200	3000	4200

表 2-15　配电变压器室通风窗尺寸表

变压器容量/kV·A	夏季通风计算温度/°C	进出风窗中心高度/mm	进出风窗面积之比 $S_j:F_c$	通风窗最小有效面积/m^2		
				进风窗		出风百叶窗
				门上	门下百叶窗	
200～630	30	2500	1∶1.5	0.3	0.31	0.92
	35	3500	1∶1	0.75	0.75	1.5
800～1000	30	3000	1∶1.5	0.45	0.45	1.35
	35	4200	1∶1	1.05	1.05	2.1
1250～1600	30	3500	1∶1.5	0.6	0.6	1.8
	35	4600	1∶1	1.4	1.4	2.8

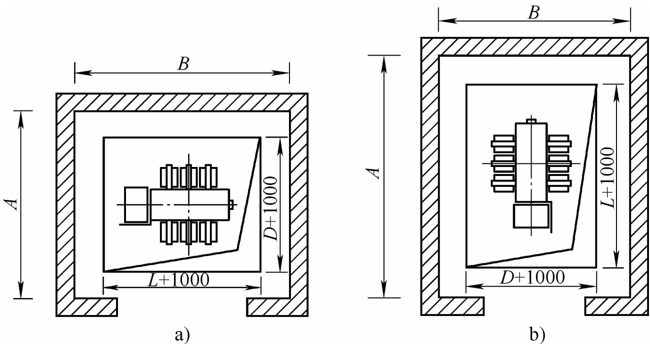


图 2-15　配电变压器室

a）宽面推进　b）窄面推进

采用哪种安装方式，可根据高压进线方式和方向、低压出线情况以及建筑物的大小选取。

三、变压器室的高度与基础

1. 变压器室的高度和地坪

变压器室的高度与变压器的高度、进线方式及通风条件有关。根据通风方式的要求，变压器室的地坪有抬高和不抬高两种。地坪不抬高时，变压器放置在混凝土的地面上，变压器室高度一般为3.5~4.8m；地坪抬高时，变压器放置在抬高地坪上，下面是进风洞，地坪抬高高度一般有0.8m、1.0m、1.2m三种，变压器室高度一般亦相应的增加到4.8~5.7m。变压器室的地坪是否要抬高是由变压器的通风方式及通风面积所确定的。当变压器室的进风窗和出风窗的面积不能满足通风条件时，就需抬高变压器室的地坪。一般地说，“出风”影响变压器室的高度，“进风”影响变压器室的地坪。

2. 变压器基础梁

室内安装的变压器基础梁做成梁状，当地坪不抬高时，则与室内地面平齐；当地坪抬高时，则与抬高地坪平齐，以便于变压器的施工安装。

由于不同型号或不同制造厂生产的变压器的轨迹不尽相同，故两根基础梁的中心距要考虑能适应两种轨距尺寸，以保证变压器顺利安装就位。各种变压器的轨距，详见变压器产品技术参数。变压器基础应水平，并具有良好的抗振和吸音性能，否则将使安装后的变压噪声增大。

配电变压器安装基础如图2-16所示。

四、变压器的验收检查

变压器的拆箱验收检查应由建设单位、变压器生产厂家、施工单位三方同时在现场验收，验收的项目及要求如下：

1）检查所有包装箱和包装盒是否完好无损。

2）拆箱由施工单位负责。拆箱验收检查的工作进度最好安排在安装变压器的前一天。

3）检查产品在运输过程中有无损伤，产品零部件是否损伤和移位，接线是否松动、断裂，绝缘介质是否有破损，是否有脏物或异物等。应重点检查一、二次绕组主绝缘筒的纵向风道。同时，如有运输时使用的垫木等物，必须撤除。

4）检查风机外壳、风叶、变压器外壳是否有破损变形，风机外壳接地是否良好。对风机电动机的绝缘性能进行检测，并达到要求。

5）检查温度传感器的导线是否断线。

6）检查温度控制器是否完好无损。

7）检查包装箱内部零件是否与装箱单相符。核对零部件是否有损坏和短缺。

8）检查出厂文件是否齐全，如温度控制器说明书、变压器安装使用说明书、变压器出厂试验记录、装箱单等。

9）检查产品的铭牌数据与订货合同是否相符，如产品型号、额定容量、额定电压、联结组标号、阻抗电压等。

五、变压器安装的基本要求

1）安装前应详细阅读说明书、产品铭牌和产品外形尺寸图，了解产品重量、安装方法等内容，准备好相应的起吊设备和工具

2）安装时，一般应离开墙壁和其他障碍物300mm以上，相邻变压器之间最少也应留有300mm的距离。

3）变压器带电导体与地的最小安全距离应符合GB 1094.3—2003《电力变压器　第3部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙》的规定。

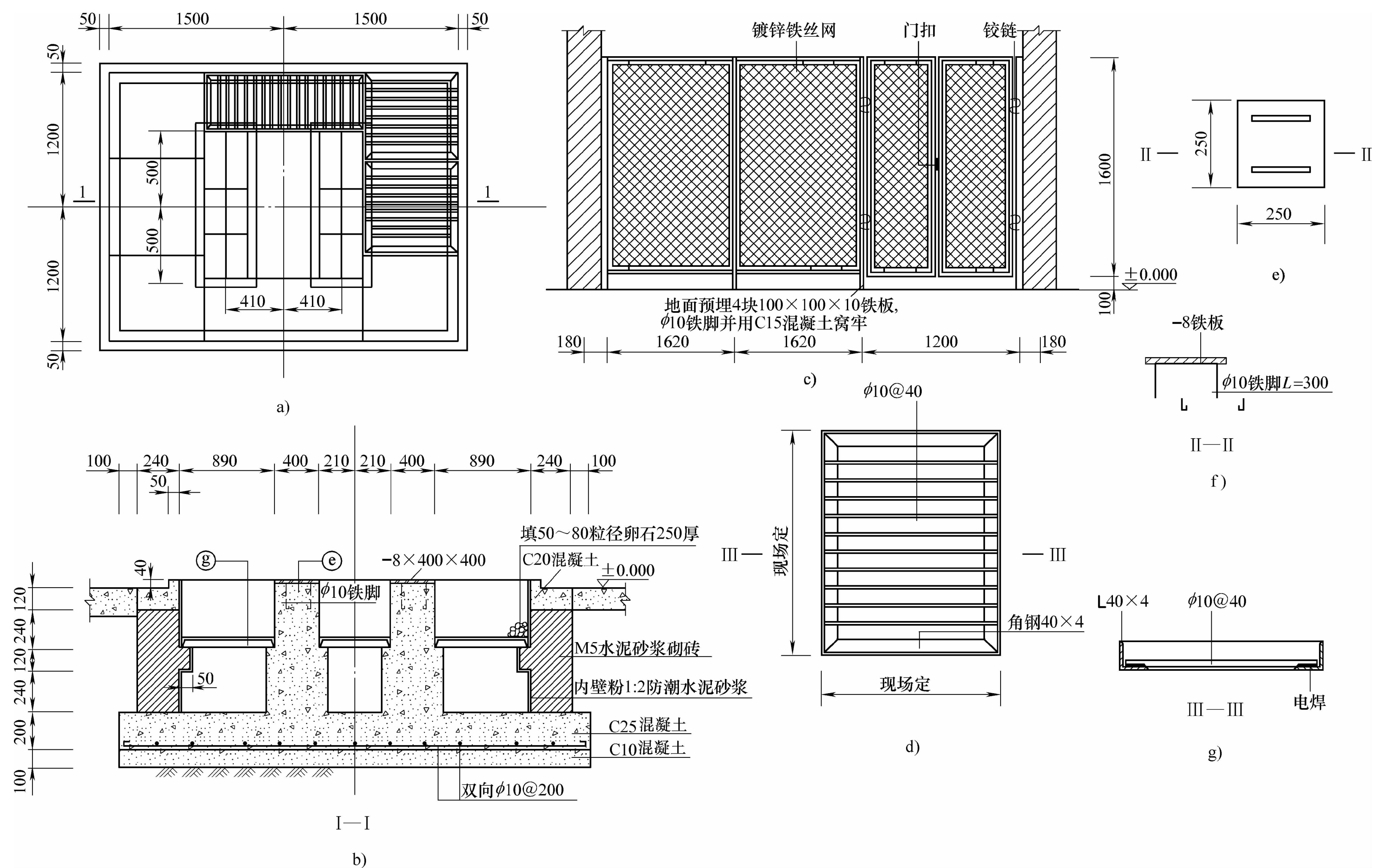


图 2-16　配电变压器安装基础

a）平面图　b）Ⅰ-Ⅰ剖面图　c）遮栏立面　d）ⓒ详图　e）ⓑ详图　f）Ⅱ-Ⅱ剖视图　g）Ⅲ-Ⅲ剖视图

4）变压器应尽可能安装在室内的背光处（北面）。

5）防护等级为 IP00 的变压器，若未能采取其他保护措施，只能安装于干燥的室内，凡是安装在潮湿场所的变压器至少应达到 IP23 的防护等级。

6）变压器基础应符合 GB 1094.3—2003 中有关的施工和验收规范。

7）一般情况下，干式变压器可直接放置在使用场地。安装检查、试验完毕后，即可投入运行。对于有防振和其他特殊要求的情况，安装变压器的地基应埋置螺栓，螺栓位置应参照变压器外形尺寸图，使之与变压器安装孔相对应。安装时，卸下变压器的小车轮，通过埋置的螺栓把变压器固定。

8）带罩壳的变压器离地面须有 150～300mm 的空隙，以确保足够的冷空气从下面进入变压器罩壳。

9）房间过小、变压器距离墙壁过近以及墙壁光滑而未采取吸音措施等，都可能使噪声波与墙上的反射波叠加，从而使噪声显著增加。同时地基和地面的吸音状况，也对噪声有很大影响。为避免把振动传给建筑物并降低噪声，可在变压器底座下加防振垫。基础水平度差也会增加变压器噪声。

10）若变压器室基建工作不能在变压器就位之前完成，则必须对变压器进行有效地遮盖防护，以防止杂物和灰尘进入变压器室内。

11）一般设计的变压器，适用于海拔在 1000m 以下，若将其用于海拔超过 1000m 的地方，须考虑到由于空气密度减小而引起的空气冷却效率降低和空气介电强度的下降引起的耐压水平的降低（详见电力变压器标准）。

12）线路进行连接时，应保证带电体之间及带电体对地的最小距离，特别是电缆至高压线圈的距离。高压连接线必须避免尖角和弯折。

13）铜导体的电流密度应小于 $2A/mm^2$；铜与铜的接触面电流密度应小于 $0.25A/mm^2$。接触面必须清洁和砂光。不得利用钢螺栓或钢螺母来传导电流。

14）低压大电流母线应单独支持，不得直接压在变压器接线端子上，使其产生过高的机械应力和力矩。当电流大于 1000A 时，母线和变压器端子之间必须有一段软连接（软连接的总截面积应不小于被连接的硬母线的导线截面积），以补偿导体的热胀冷缩，并隔离母线和变压器的振动。

15）在 TN-S 的接地制式中，变配电站内的 N 母线、PE 母线均应接在变压器中性点 N 的接线端子上，然后变压器中性点 N 再用和 PE 母线相同截面积的铜导线接地（E）。但为了施工上的方便，通常 TN-S 系统的 PE 主母线和 N 主母线的连接是在第一只低压配电柜（电源柜）内完成的，在这种情况下，除了这一只低压配电柜（电源柜）的 N 主母线与 PE 主母线必须连接外，其他所有低压配电柜都是禁止连接的，否则，破坏了 TN-S 供配电系统。而且要求在第一只低压配电柜内的 N 主母线和 PE 主母线连接之前，应用 1000V 绝缘电阻表摇测 N 和 PE 间的绝缘电阻，其最低合格值和 U、V、W 之间的最低合格值一样。

16）母线的连接应保持必要的接触压力，必须使用弹性元件（比如蝶形垫圈或弹簧垫圈）。在坚固连接螺栓时，建议使用扭矩扳手。螺栓规格为 M8、M10、M12、M16 时，扭矩的参考值分别为 10N·m、25N·m、30N·m、40N·m。

17）变压器铁心、变压器中性点 N、变压器罩壳、冷却风机电动机外壳、冷却风机罩壳、电力电缆铠装外皮、封闭母线的外壳、零序电流互感器的二次接地点、温度控制器的外

壳等，都应根据各自不同的要求，通过带有接地标志的接地螺栓可靠地接入保护接地系统（E）。注意：保护接地线不要串接。

18）温度控制箱应装在变压器罩壳外低压侧门旁边，控制线的敷设应远离高压侧。

19）当需要变换分接电压时，可用螺栓螺帽把软电缆上面的电缆头固定在相应的变压器分接端子上（根据需要参照铭牌）。松、紧螺栓时应小心操作，为防止损坏分接端子，在变换分接时必须使用两把扳手。当操作完成后，应检查软电缆线对线圈和其他引线的距离，检查电缆头与分接端子接触是否良好。并用电桥测量一次绕组的直流电阻，以检查分接端子内部和外部的接触是否良好。

20）由小动物引起的变压器相间短路和单相接地故障经常发生，所以防止小动物进入变压器室或采用 IP20 防护是非常必要的。当变压器带罩壳时，应特别注意电缆进线孔的密封，以防止小动物从这里进入变压器罩壳。

21）变压器罩壳四周应铺设耐压 AC 40kV 以上的绝缘橡胶地毯。

22）变压器罩壳一次侧门上应挂有固定的“高压危险！”标志牌。并在门上挂有固定的说明，其中包括：送电的开关柜编号；送电的电力电缆型号、规格；变压器一次侧的门和开关柜的联锁关系。

23）变压器通电运行一个月左右后，建议参照相关的标准把所有螺栓复紧一遍。

六、油浸式配电变压器的安装

1. 单电源单配变的安装

10kV 单电源架空线进线，高供低计，选用负荷开关熔断器组合开关柜，安装 1 台 SBH11-M-315/10 型油浸式配电变压器，配电所电气设备平面布置如图 2-17 所示，配电变压器Ⅰ-Ⅰ视图如图 2-18 所示，SBH11-M-315/10 型配电变压器安装设备材料见表 2-16。

表 2-16　SBH11-M-315/10 型配电变压器安装的设备材料

序号	名　　称	规　　格	单位	数量	备　　注
1	10kV 支柱瓷绝缘子角钢支架	∠50×5 角钢 $L=2200$	副	1	现场制作
2	10kV 支柱瓷绝缘子	ZL-10/800N	只	20	附矩形母线固定金具 MNP-307 15 套,207 5 套
3	0.4kV 出线铜排	TMY-60×6	m	85	
4	10kV 支柱瓷绝缘子角钢支架	∠50×5 角钢 $L=2200$	副	1	现场制作
5	母线伸缩节	MSS-100×10	副	11	铜伸缩节
6	变压器	SBH11-M-315/0.4 10±2×2.5% Dyn11 $u_K\%=4\%$	台	1	1#变压器
7	户内电缆终端头	10kV WLN-3/2 3×70	套	2	1#变压器 10kV 进线用三相冷缩
8	10kV 电力电缆	YJV22-8.7/15kV-3×70	m	25	1#变压器进线 电缆,按实际测量长度为准
9	10kV 电缆角钢支架	∠50×5 角钢	副	2	现场制作
10	变压器接地	扁钢-50×5	m	10	热镀锌

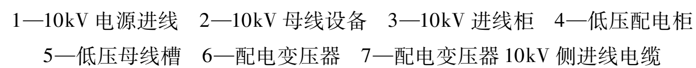


图 2-17　配电所电气设备平面布置

1—10kV 电源进线　2—10kV 母线设备　3—10kV 进线柜　4—低压配电柜

5—低压母线槽　6—配电变压器　7—配电变压器 10kV 侧进线电缆

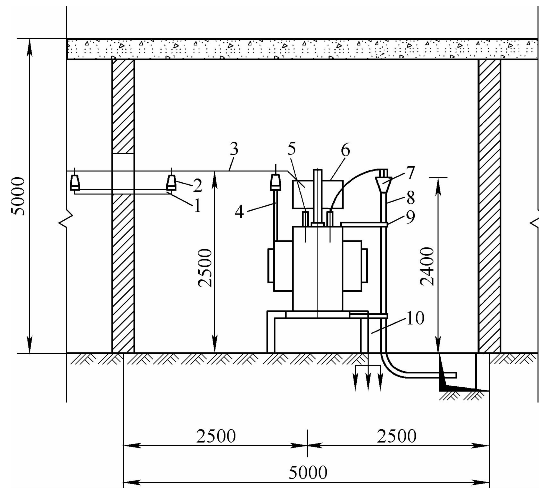


图 2-18　SBH11-M-315/10 型配电变压器的室内安装尺寸

1、4—10kV 支柱瓷绝缘子角钢支架　2—10kV 支柱瓷绝缘子　3—0. 4kV 出线铜排
5—母线伸缩节　6—变压器　7—10kV 户内电缆终端头　8—10kV 电力电缆
9—10kV 电缆角钢支架　10—变压器接地

2. 双电源双配电变压器的安装

10kV 双电源电缆进线，高供高计，选用移开式开关柜，单母线分段，安装两台 SBH11-M-1250/10 型油浸式配电变压器，配电所电气设备平面布置如图 2-19 所示，配电变压器的安装如图 2-20 所示，配电变压器安装设备材料见表 2-17。

表 2-17　配电变压器安装的设备材料

序号	名　　称	规格及型号	单位	数量	备　　注
1	三相无载调压电力变压器	SBH11-M-1250/10	台	1	
2	户内冷缩型电缆头	与 95mm^2 三芯电缆配套	套	2	含 10kV 开关柜侧
3	10kV 电缆头支架	L40 ×4 现场制作	副	1	装于变压器上
4	10kV 电缆支架	L40 ×4 现场制作	副	1	装于变压器散热器上
5	阻燃铜芯交联聚乙烯绝缘电缆	ZR-YJV-8. 7/15-3 ×95	m	50	已考虑 10% 裕度
6	水煤气管	内径为 50mm，弯曲半径 >500mm	根	1	热镀锌，预埋
7	水煤气管	内径为 100mm，弯曲半径 >500mm	根	1	热镀锌，预埋

七、干式配电变压器的安装

1. 单电源单配变的安装

10kV 单电源电缆进线，高供低计，电源进线采用带电显示器闭锁负荷开关的接地开关柜，安装 1 台 500kV · A 干式配电变压器，配电所电气设备的平面布置如图 2-21 所示，SCBH10-500/10 型干式配电变压器室内安装如图 2-22 所示，SCBH10-500/10 型配电变压器的设备材料见表 2-18。

19200
3800 4800 4800 5800
900 3000 900 900 3000 900
250 2500 250

检修间

10kV2# 变压器室

10kV1# 变压器室

2# 1#

一次电缆沟 (400×1000)　一次电缆沟 (100×1000)　一次电缆沟 (400×1000)

栅栏

2100 600 2100 2100 600 2100 1100

低压母线槽

7 6 5 4 3 2 1

一次电缆沟 600×1000

0.4kV 开关室

低压母线槽

8 9 10 11 12 13 14

一次电缆沟 600×1000

10kV 开关室

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 9 10

一次电缆沟

600×1000 电缆施工用

直流箱

一次电缆沟 600×1000

12000 5000 7000 1300 2400 1300 1200 1000 2600 1000 1200 200 600 200 200 600 200

320 500 400 1200 800 800 800 800 800 800 800 800 800 800 800 800 9600 12000 1200

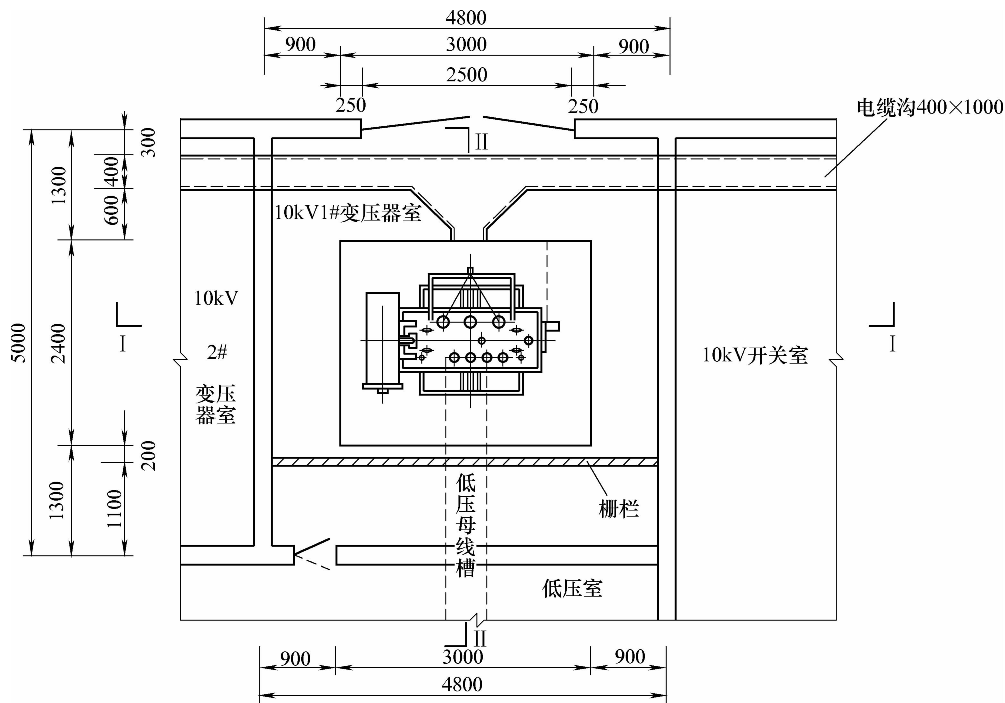
200 700 500 600 800 100 100 200 1600 1600 2600

800 800 1000 600 1000 800 800

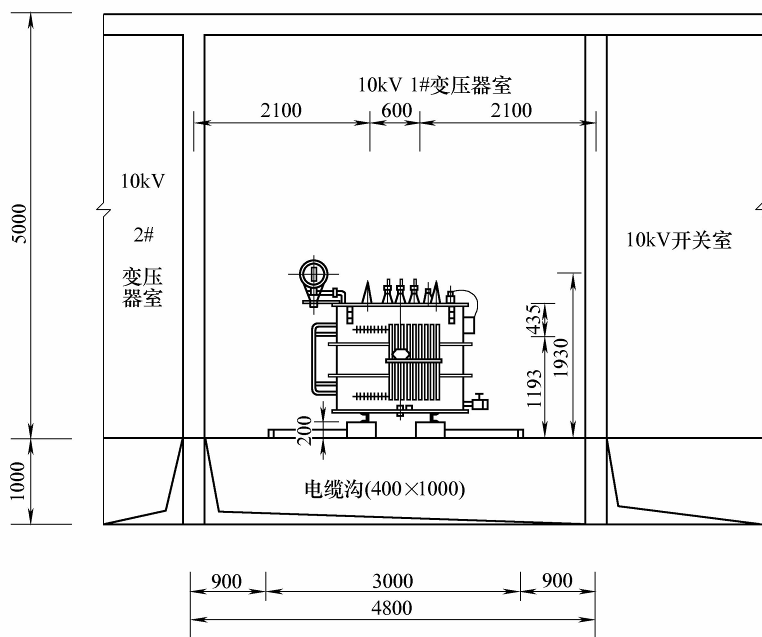
5700 5800 1900 5800

19200

图 2-19　配电变压器及电气设备平面布置



a)



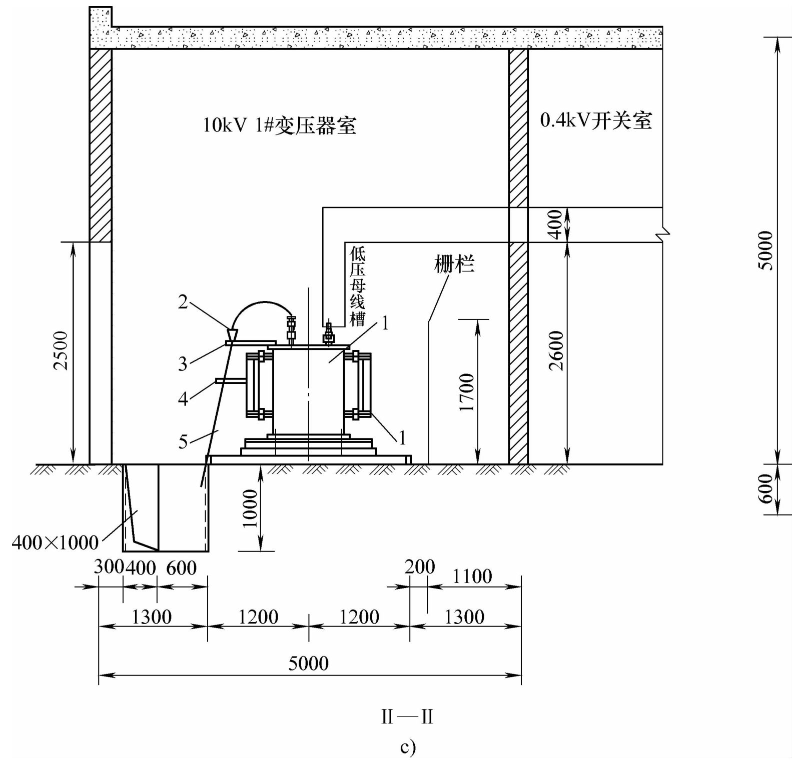
b)

图 2-20　SBH11-M-1250/10

a）平面布置图　b）I—I

1—SBH11-M-1250/10 型配电

3—10kV 电缆头支架



Ⅱ—Ⅱ

c)

型配电变压器的安装

断面图　c）Ⅱ—Ⅱ断面图

变压器　2—户内冷缩型电缆头

　4—10kV 电缆支架　5—电缆

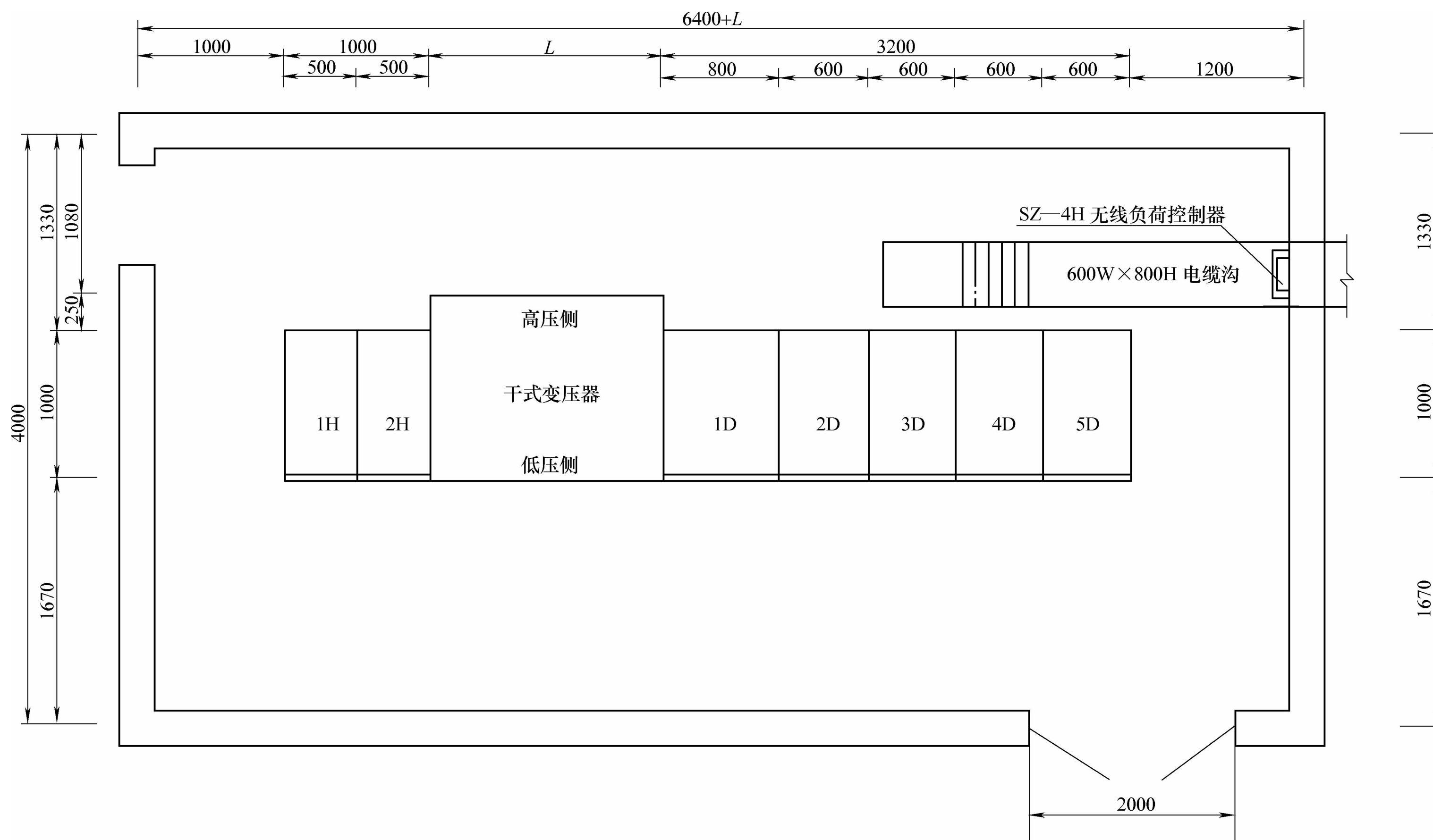


图 2-21　单台干式配电变压器的平面布置

注：L-SCBH10-□型干式配电变压器的外形长度，单位为 mm。

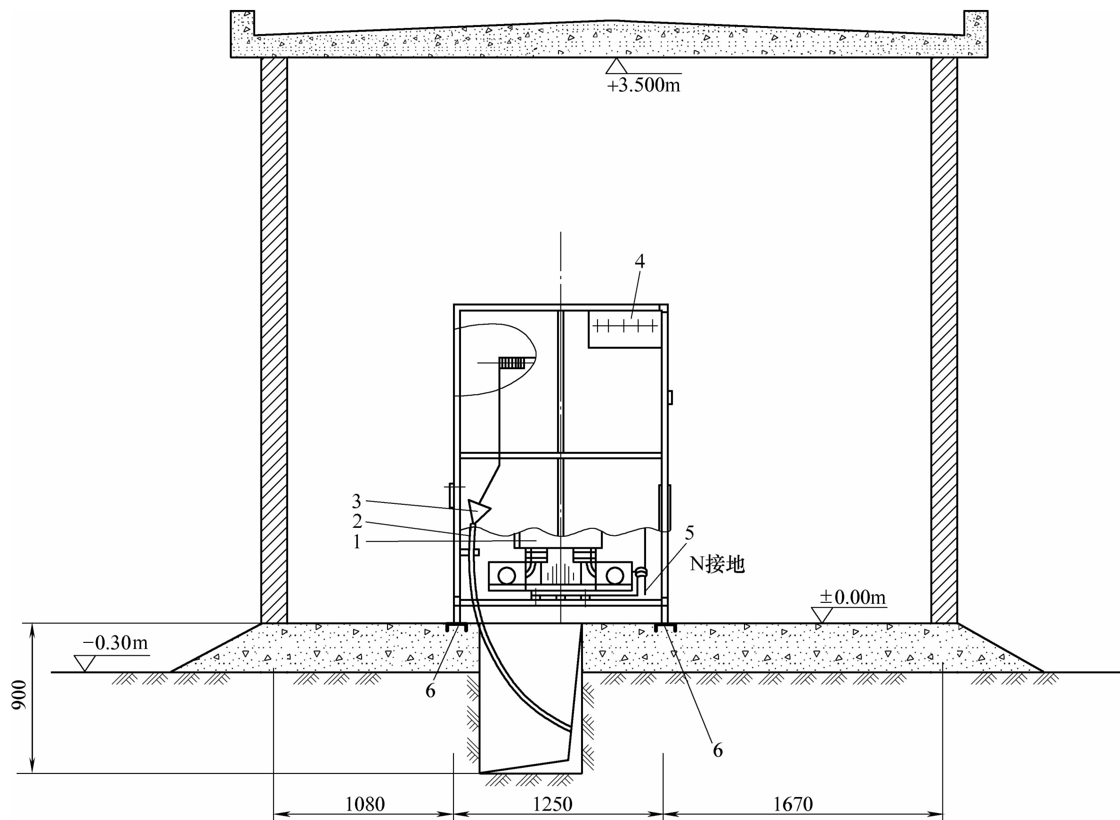


图 2-22　SCBH10-500/10 型干式配电变压器的室内安装

1—干式配电变压器　2—高压电缆　3—高压电缆头　4—低压横排母线　5—变压器工作接地　6—预埋槽钢

表 2-18　SCBH10-500/10 型配电变压器安装的设备材料

序号	名　　称	型号及规格	单位	数量	备　　注
1	干式变压器	SCBH10-500/10	台	1	
2	高压电缆	ZR-YJV-8.7/15-3×95	m	8	
3	高压电缆头	3M　冷缩户内电缆头	个	2	与高压电缆配套
4	低压横排母线	TMY-5×(63×6.3)	m		
5	变压器工作接地线		m		
6	预埋槽钢	[10	根	2	

2. 双电源双配变的安装

10kV 双电源电缆进线，高供高计，单母线分段，10kV 侧采用 ABB 公司的负荷充气开关柜，安装 2×1250kV·A 干式配电变压器，配电所电气平面布置如图 2-23 所示，配电室内变压器、低压开关柜安装Ⅰ—Ⅰ视图如图 2-24 所示。SCBH10-1250/10 型干式配电变压器室内安装的设备材料见表 2-19。

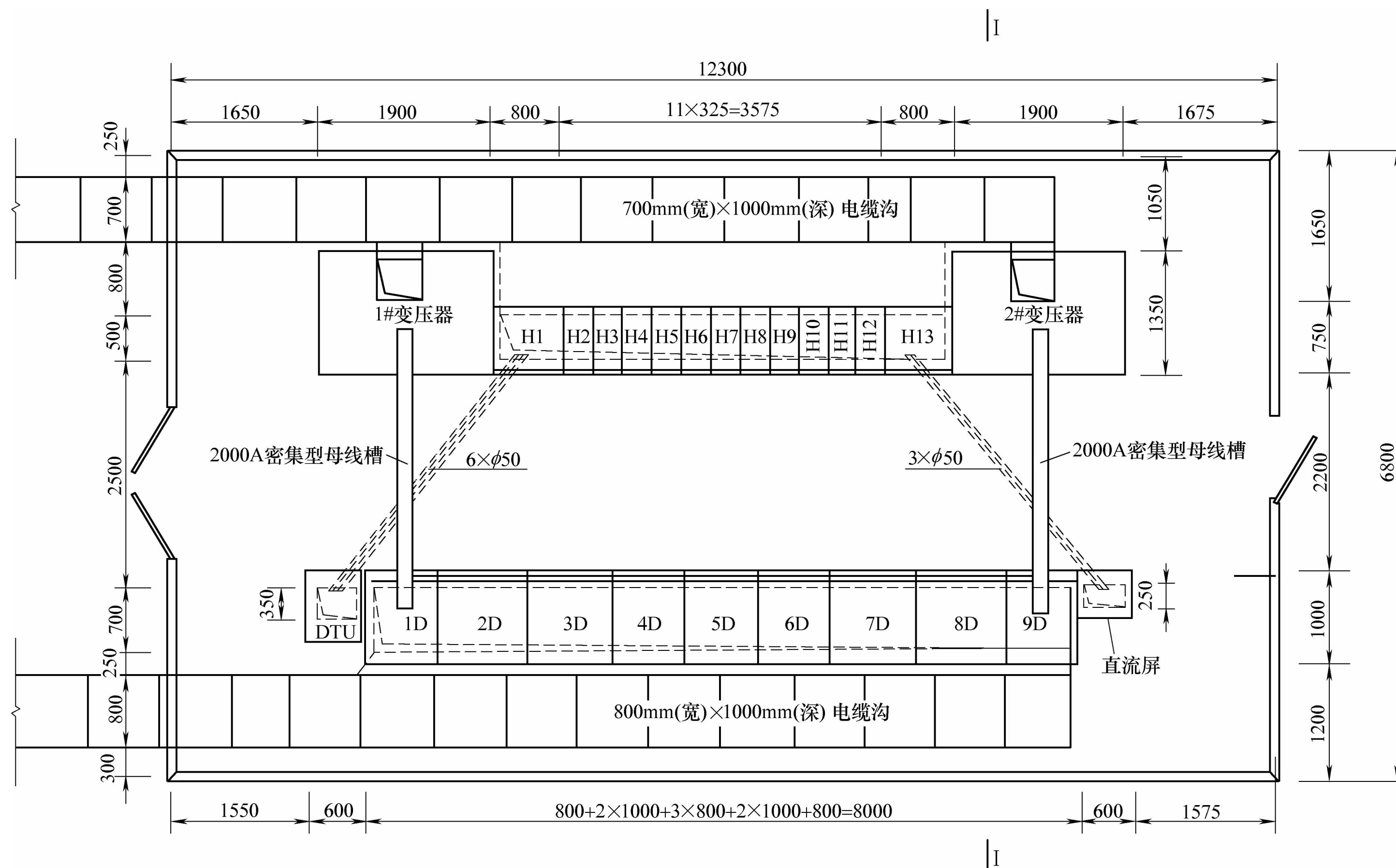


图 2-23　配电所电气平面布置

+3.500m
5
低压出线端子
(N,U_1,V_1,W_1)
高压出线端子
(U_2,V_2,W_2)
400
n c b a
M10
4
6
1
2200
3
2200
1455
风机
风机
2
±0.000m
−0.400m
1000
300 800 250 700
600 200 700 250
1200 1000 2200 1350 1050
6800

图 2-24　配电室内变压器、低压开关柜安装 I - I 视图

1—干式配电变压器　2—高压电缆　3—高压电缆头　4—电缆头接线端子　5—低压母线槽　6—低压配电柜

表 2-19　配电所主要电气设备

序号	符号	名　　称	型号规格	单位	数量
1	TM	干式配电变压器	SCBH10-1250/10	台	1
2		高压电缆	YJV-8.7/15-3×70	M	2×9
3		高压电缆头	3M 冷缩头 3×70	只	2×1
4		电缆头接线端子	DT 70	只	4×3
5	H1、13	电压互感器柜	HXGN-12-630A/20kA	台	2×1
6	H2、12	10kV 电源进线柜	SAFE-C-630A/20kA	台	2×1
7	H3、11	配电变压器进线柜	SAFE-L-630A/20kA	台	2×1
8	H4、5、6、8、9、10	环网柜	SAFE-C-630A/20kA	台	6×1
9	H7	母线分段柜	SAFE-SL-630A/20kA	台	1
10		母线槽	TMY-4（100×8）	M	2×5.5
11	$D_1 \sim D_9$	低压配电柜	MNS 400V	面	9

配电室电气设备安装工艺如图 2-25 所示。

八、配电室电气进出线的安装

1. 10kV 架空进线的安装

10kV 架空线路跌落式熔断器引入方式如图 2-26 所示。

10kV 架空线路进户装置钢架预埋示意如图 2-27 所示，低压母线穿墙隔板框架预埋示意如图 2-28 所示。

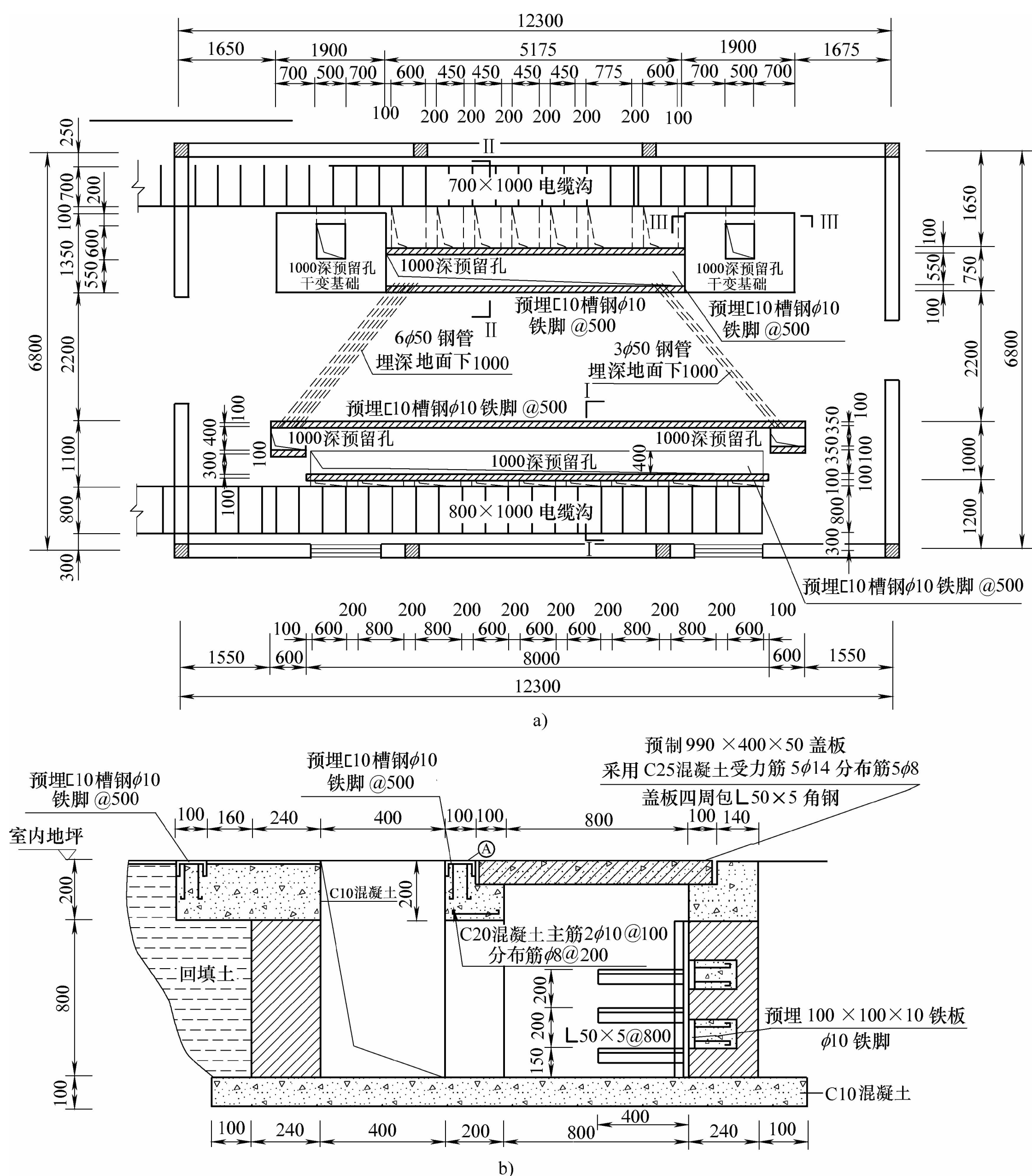
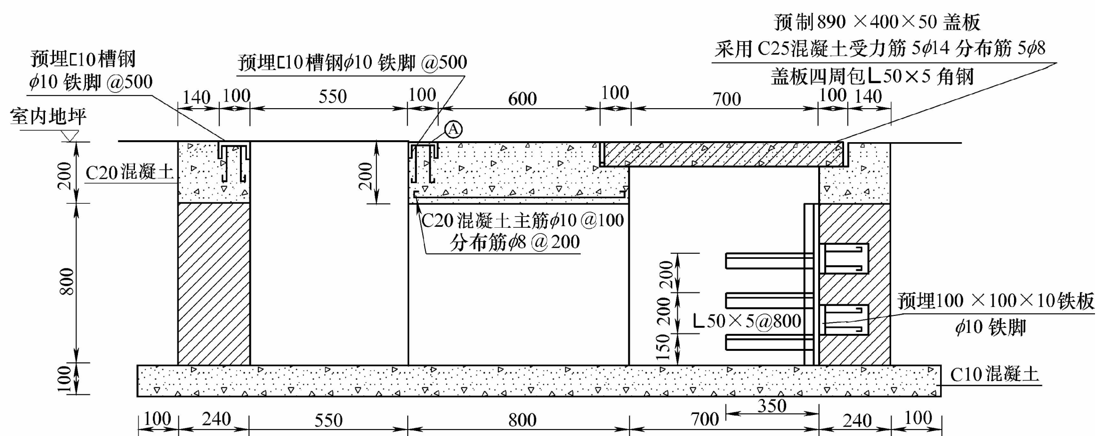
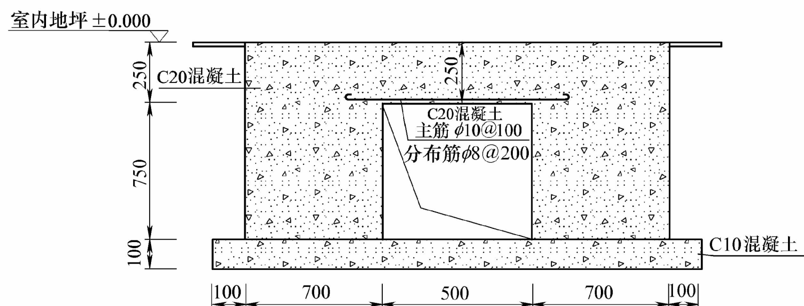


图 2-25　配电室电气设备的安装工艺

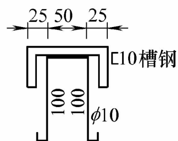
a）工艺图　b）Ⅰ—Ⅰ视图



c)



d)



e)

图2-25　配电室电气设备的安装工艺（续）

c）Ⅱ—Ⅱ视图　d）Ⅲ—Ⅲ视图　e）A详图

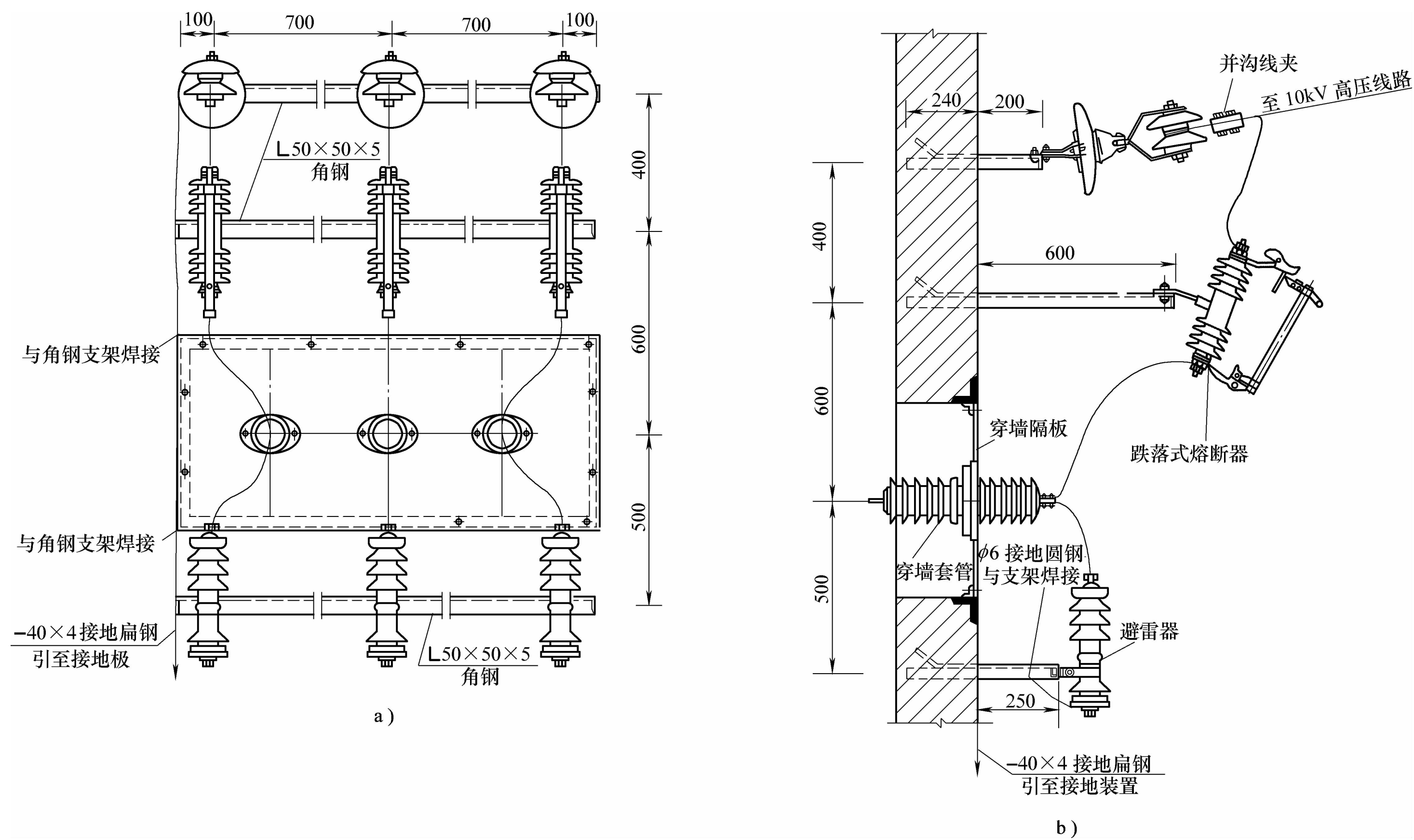


图 2-26　10kV 架空线路跌落式熔断器引入方式

a）正视图　b）侧视图

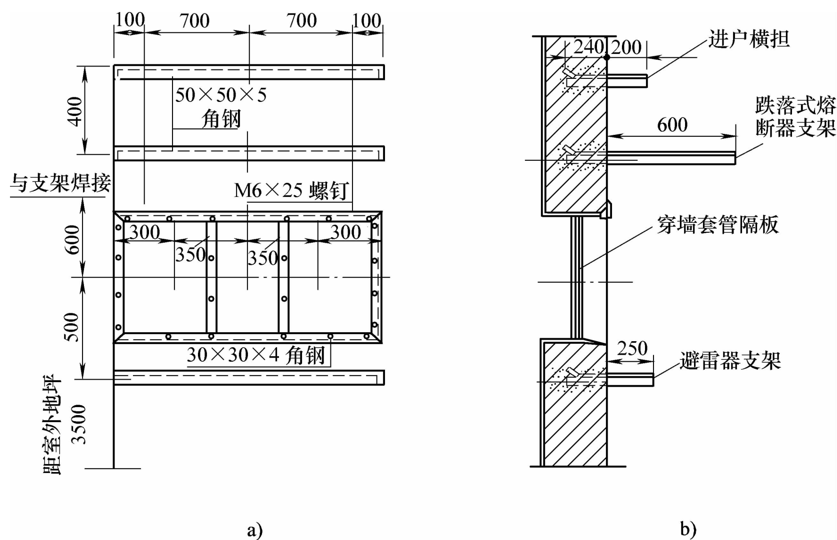


图 2-27　10kV 架空线路进户装置钢架预埋示意
a）正视图　b）侧视图

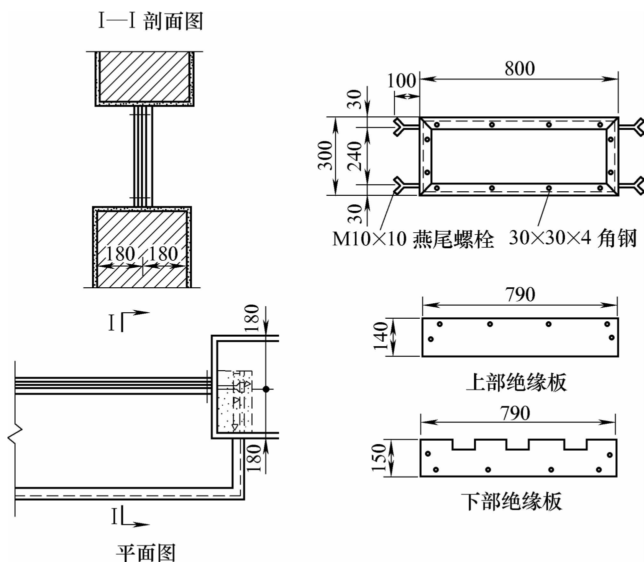


图 2-28　低压母线穿墙隔板框架预埋示意

2. 10kV 电缆引入安装

10kV 电缆终端杆引入配电室安装如图 2-29 所示，安装设备材料见表 2-20。

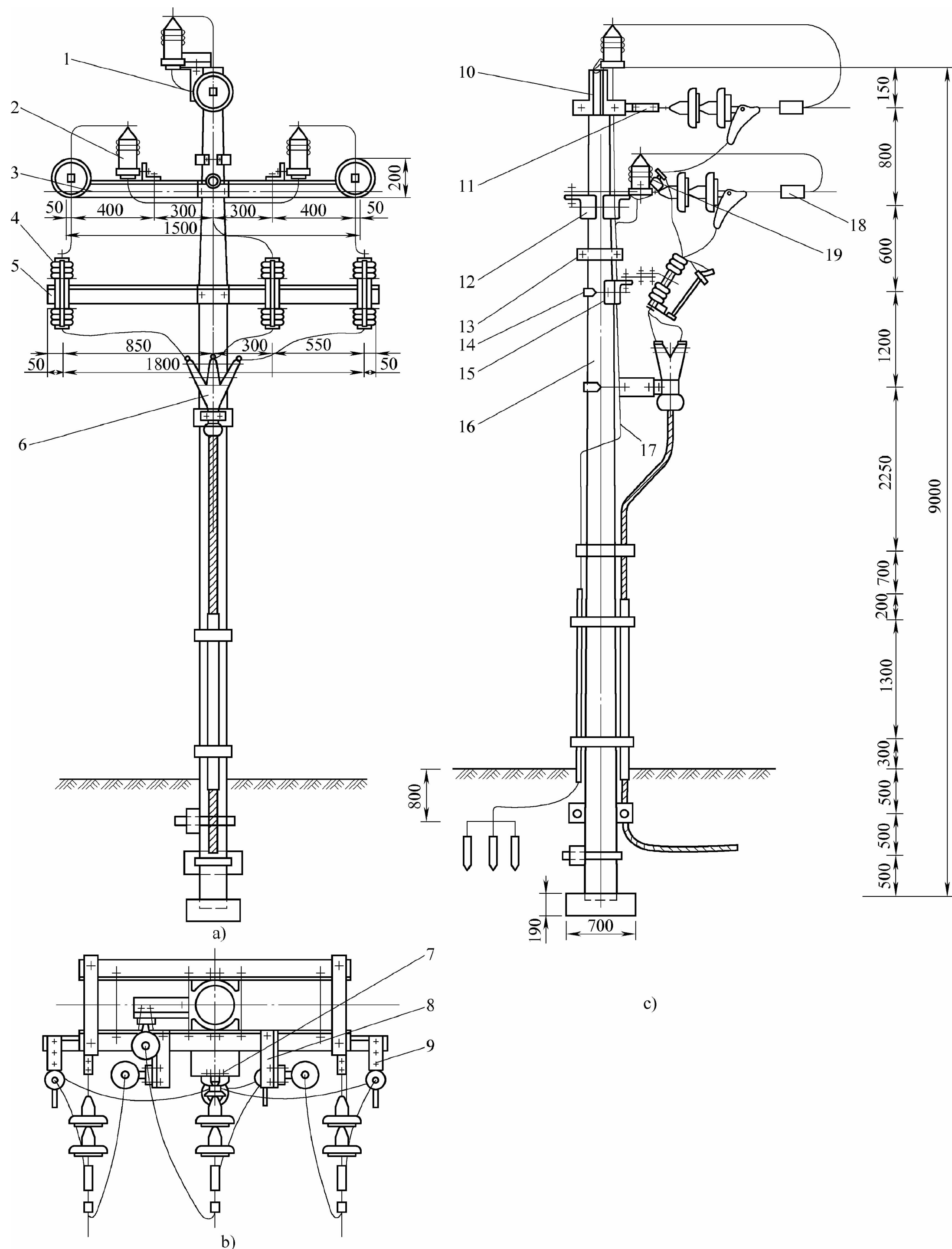


图 2-29　10kV 电缆终端杆引入配电室安装
a）正视图　b）俯视图　c）侧视图
1—悬式绝缘子　2—避雷器　3—横担　4—跌落式熔断器　5—跌落式熔断器固定横担　6—电缆终端盒
7—针式绝缘子固定支架　8—避雷器固定支架　9—跌落式熔断器固定支架　10—杆顶支座抱箍
11—拉板　12—M 形抱铁　13—拉线　14—U 形抱箍　15—M 形抱铁　16—电杆　17—接地装置
18—并沟线夹　19—针式绝缘子

表 2-20　10kV 电缆终端杆安装设备材料

序　号	名　称	规　格	单　位	数　量
1	耐张绝缘子串		串	3
2	避雷器	YH5WZ-10/27	个	3
3	横担		副	1
4	跌落式熔断器	RW4-10	个	3
5	跌落式熔断器固定横担		根	1
6	电缆终端盒		组	1
7	针式绝缘子固定支架		副	1
8	避雷器固定支架		副	3
9	跌落式熔断器固定支架		副	3
10	杆顶支座抱箍		副	1
11	拉板		块	1
12	M 形抱铁		个	2
13	拉线		组	1
14	U 形抱箍		副	1
15	M 形抱铁		个	1
16	电杆	ϕ170	根	1
17	接地装置		处	1
18	并沟线夹	JB 型	个	3
19	针式绝缘子	P-20(15)T	个	1

3. 配电室内电缆的安装

配电室内电缆的安装如图 2-30 所示，电缆终端支架最低高度见表 2-21。

表 2-21　电缆终端支架最低高度表

变压器容量/kV·A	高度 H/mm	变压器容量/kV·A	高度 H/mm
100～125	1800	500～630	2000
160～250	1800	800～1000	2100
315～400	1900		

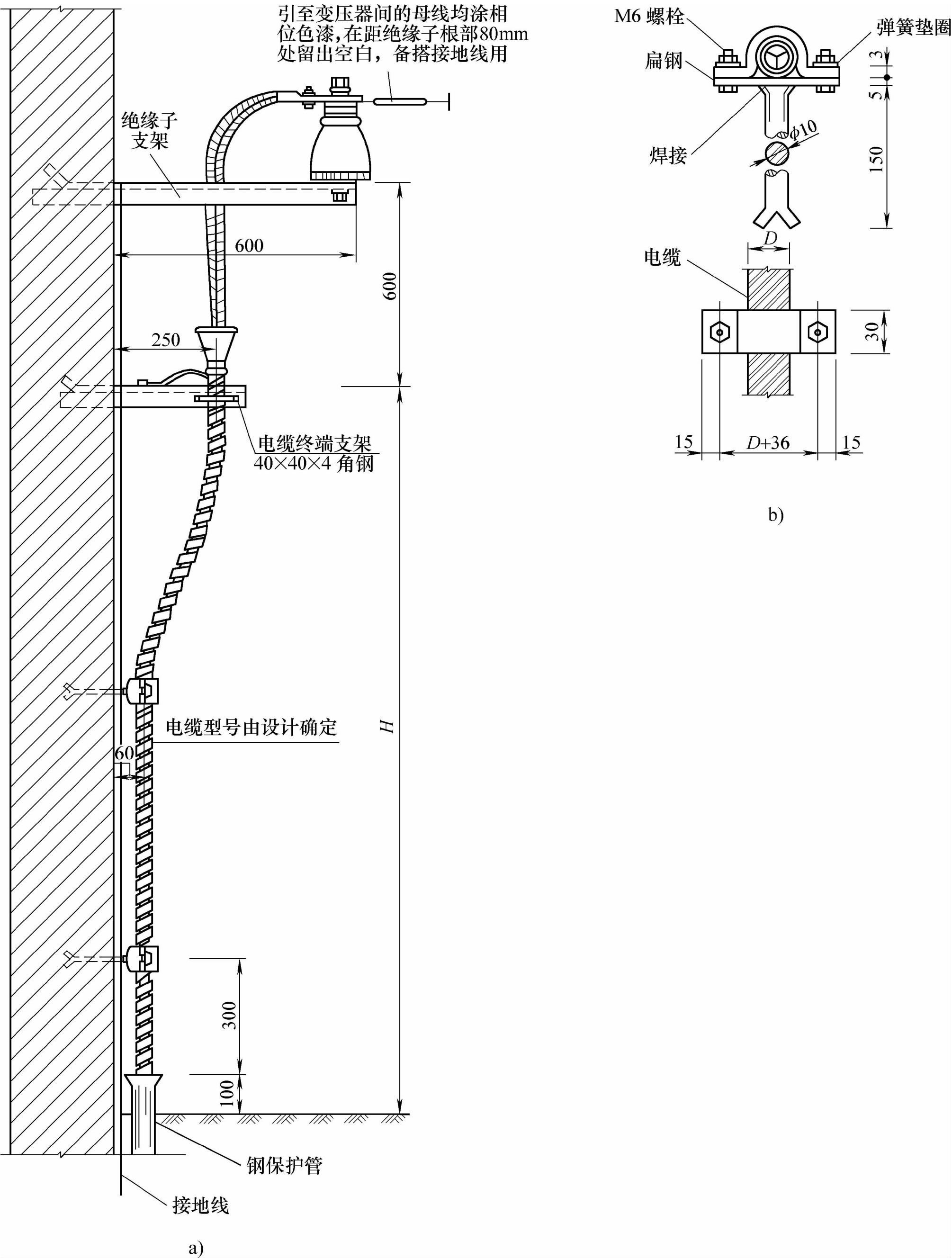


图 2-30　配电室内电缆的安装

a）安装结构　b）电缆支架固定做法

第八节　配电变压器杆塔式安装

一、杆塔式安装的基本要求

杆塔式是将变压器装在杆上的构架上。其中最常见的有两种装法，即双杆式和单杆式。

双杆式户外安装方式适用于50～160kV·A 的配电变压器,也有一些315kV·A 的变压器采用这种安装方式,不过应在架子下面的中部加一顶柱。

台架由镀锌角铁构成，距地面高2.5m。台架既适合于装设在梢径190mm、杆高为12m的拔梢混凝土杆上，也适合于装设在同等梢径而杆高为15m 的拔梢上，只要改变托架抱箍的大小即可。避雷器横担距台架1.5m。跌落式熔断器横担距避雷器横担0.6m。避雷器横担装在变压器杆的内侧，以免操作跌落式熔断器时熔管掉下，损坏避雷器或支持绝缘子。高压避雷器安装在高压跌落式熔断器之下，便于在不影响线路停电情况下进行装拆及现场试验检查。除靠近与单机配套的可用变压器低压侧可不装熔断器外，对50kV·A 及以下的公用变压器,应在低压侧装设熔断器；50kV·A 以上的公用变压器,可在低压侧安装配电箱或适当选用较小的高压熔断器的办法来解决低压保护问题。

对路径较长及有雷击可能的低压线路，在变压器低压侧应安装低压避雷器进行防雷保护。

变压器安装在杆塔台架上的优点是占地少、四周不需围墙或遮栏；带电部分距地面高，不易发生事故，农村变压器适宜此种安装方式。其安装方式的缺点是台架用的钢材较多，造价较高。

二、S11-100/10 型配电变压器的安装

S11-100/10 型配电变压器台架安装方式如图2-31 所示，安装设备材料见表2-22。

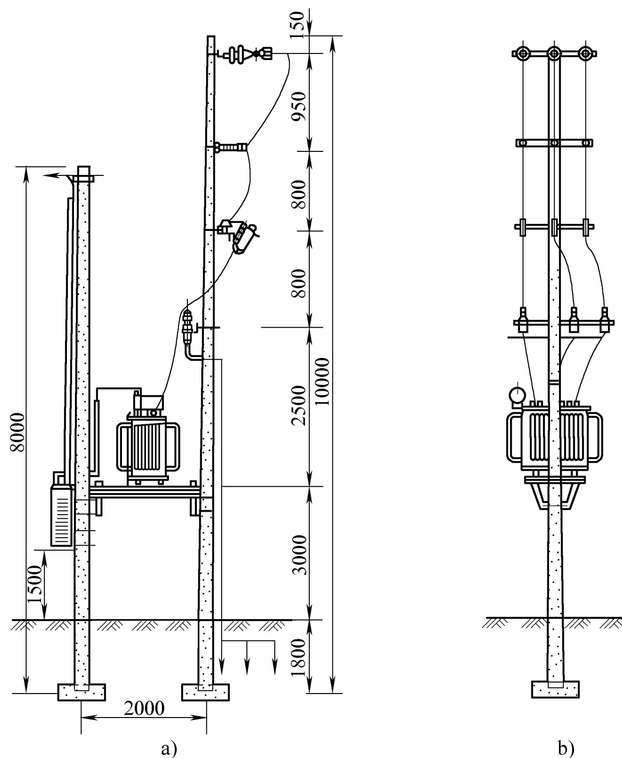


图2-31　S11-100/10 型配电变压器台架安装方式

a）正面　b）侧面

表 2-22　10kV、100kV · A 配电变压器台架安装设备材料

序号	器材名称	规格型号	数量	单位	序号	器材名称	规格型号	数量	单位
1	变压器	S11-100kV·A	1	台	15	圆钢抱箍	$\phi16\times260$	3	只
2	混凝土杆	$\phi190\times10000$（非）	1	根	16	镀锌螺栓	M12×35	20	只
3	混凝土杆	$\phi150\times8000$	1	根	17	镀锌螺栓	M16×35	3	只
4	台架	[100×2000	1	副	18	弯钩螺栓	M16×220	8	只
5	撑脚	2×∟50×6×800	1	副	19	接地棒	$\phi25\times2000$	3	根
6	压板	∟50×5×200	1	副	20	接地扁铁	−30×3×2000	5	根
7	跌落式熔断器	RW7-10kV/A	3	只	21	接地铜线	JT-25	2	kg
8	避雷器	Y5C3-12.7/45	3	只	22	塑铜线	BV-25	10	m
9	支撑横担	∟50×5×1500	1	根	23	铜线卡子	TK-12mm	9	只
10	瓷横担	S2-10/2.5	3	根	24	钢芯铝绞线	LGJ-50	3	kg
11	避雷器支架	∟60×6×1500	1	根	25	设备线夹	SL-10	4	只
12	熔断器支架	∟60×6×1500	1	根	26	垫片	D12mm	0.5	kg
13	圆钢抱箍	$\phi16\times220$	3	只	27	垫片	D18mm	2	kg
14	圆钢抱箍	$\phi16\times240$	2	只					

三、S11-320/10 型配电变压器的安装

城镇街道 10kV、320kV · A 及以下配电变压器台架安装方式如图 2-32 所示，其 10kV 跌落式熔断器安装在靠公路侧。安装设备材料见表 2-23，台架安装的铁件均为热镀锌，钢材为 Q235 型。

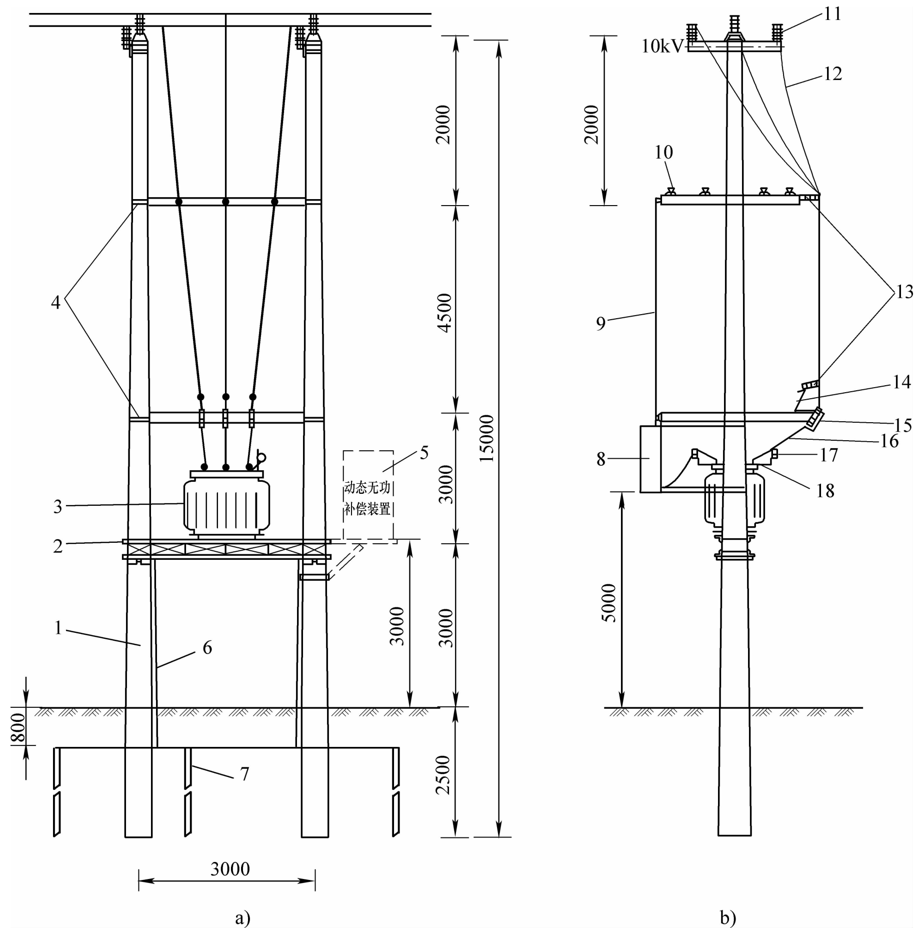


图 2-32 城镇街道 10kV、320kV · A 及以下配电变压器台架安装方式

a）正面 b）侧面

1—混凝土杆 2—变压器台架 3—变压器 4—变压器框架 5—动态无功补偿装置 6—钢绞线 7—接地体 8—低压控制箱 9—低压引线 10、11、13—绝缘子 12、16—高压引线 14—熔断器支架 15—熔断器 17—避雷器 18—避雷器支架

表 2-23 10kV、320kV · A 配电变压器台架安装材料

序号	名 称	型号及规格	单位	数量	备 注
1	混凝土杆	ϕ190/15000-1416	根	2	
2	变压器台架		副	1	
3	变压器	S11-50～320	台	1	
4	变压器框架		副	2	
5	无功补偿装置		只	1	
6	钢绞线	GJ-35	m	20	用于变压器固定及接地引线
7	接地体	Ⅱ型	副	1	
8	低压控制箱		只	1	
9	低压引线	JKLYJ-1/185	m	46	
10	绝缘子	ED-1	只	22	
11	绝缘子	S2-10/2.5	只	9	
12	高压引线	JKLYJ-10/50	m	37	熔断器上引线

第九节　配电变压器台墩式安装

台墩式是在变压器杆的下面用砖石砌成高 0.5 ~ 1.8m 的四方墩台，把变压器放在上面，变压器杆兼作高压线的终端杆并引下线，同时亦作为低压出线的终端杆。台墩的作用一方面是防止变压器底部积水，另一方面是抬高变压器位置，使其高低压引出线方便，并对地保持较大距离，便于操作。

安装在台墩上的配电变压器在安装尺寸方面大致与杆上变压器相同。此外，还要注意如下事项：

1）变压器四周应装设不低于 1.8m 的牢固的遮栏或砌围墙，门应加锁并由专人保管。

2）遮栏、围墙距变压器应有足够的安全操作距离。

高压线路竣工及变压器安装完毕后，应在电杆或围墙上悬挂“高压危险，不许攀登!”等警告牌，防止人、畜接近。

这种安装方式一般用于 315kV · A 以上的变压器。由于变压器容量较大，为了便于操作及分路送电，在低压出线处装设小型配电间或露天的密封式低压配电箱。变压器台墩式装置的优点是造价低，便于维护检修等；但也有占地较多，周围要装设遮栏，老鼠和蛇等小动物易爬到带电部分上去，发生受外力破坏事故等缺点。

配电变压器台墩式安装如图 2-33 所示，主要设备材料见表 2-24。

表 2-24　配电变压器台墩式安装主要设备材料

序号	名　称	型号及规格	单位	数量	备注
1	针式绝缘子	P-10T	只	7	
2	跌落式熔断器	RW11-10　16A	只	3	
3	避雷器	Y5C2-12.7/14	只	3	
4	角铁横担	∟63 × 6 × 1500	根	1	热镀锌
5	绝缘导线	JKYJ-50	m	15	
6	绝缘子横担	∟63 × 6 × 1500	根	1	热镀锌
7	配电变压器	S11-630/10-10 ± 5% 10.4　Dyn11　$u_K\% = 4\%$	台	1	
8	低压电缆	ZR-YJV22-0.6/1.0 2 × 4 × 300mm^2	m	15	
9	低压配电柜	GGD3	台	5	
10	变压器接地	− 50 × 5，ϕ16 × 2500			接地电阻 $R_e = 4\Omega$

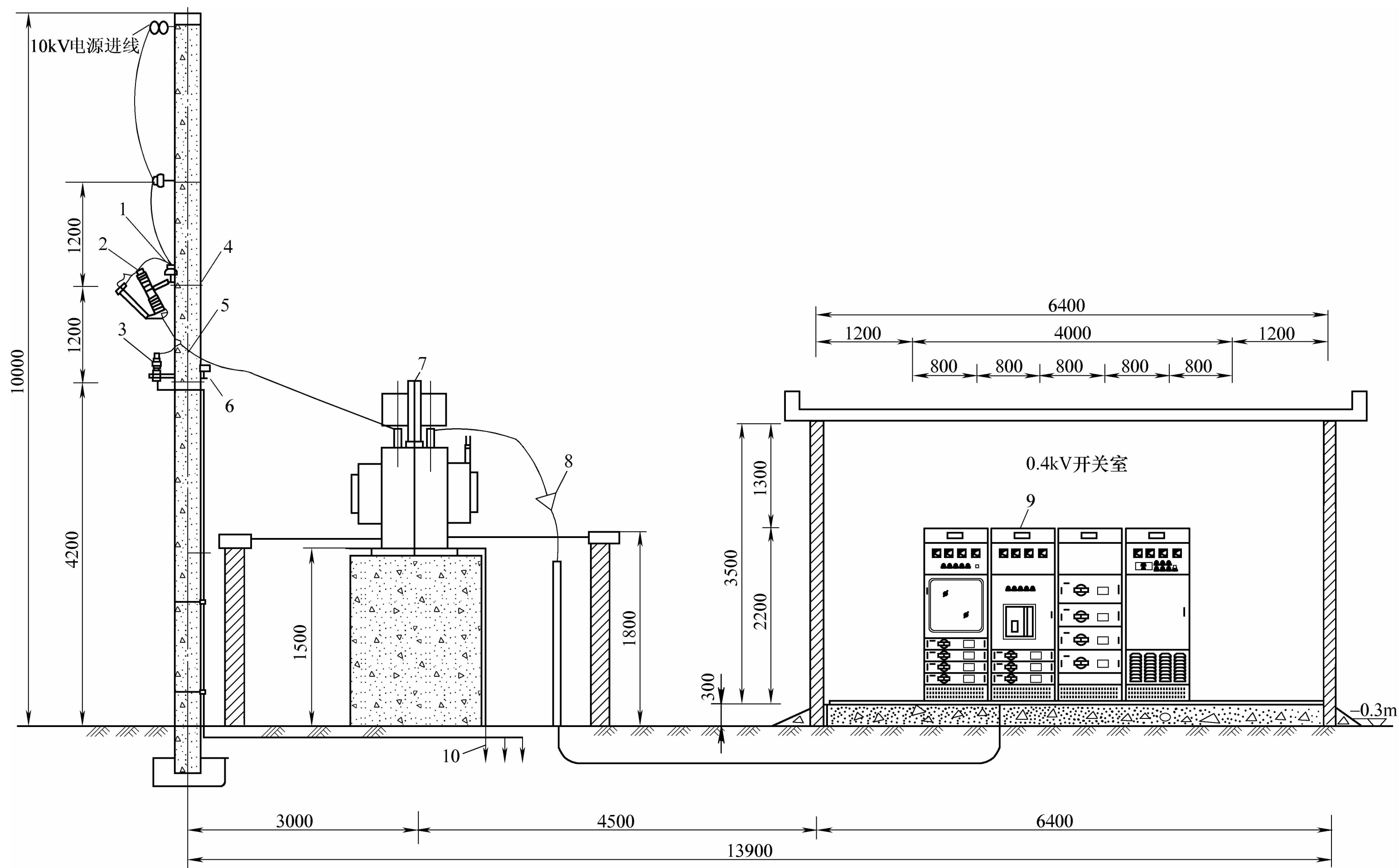


图 2-33　配电变压器台墩式安装

1—绝缘子　2—跌落式熔断器　3—避雷器　4—角铁横担　5—绝缘导线　6—绝缘子横担
7—配电变压器　8—低压电缆　9—低压配电柜　10—配电变压器接地装置

第十节　配电变压器落地式安装

落地式安装的配电变压器底部距地面不应小于0.3m，变压器四周应设不低于1.7m高的固定围栏（墙）。变压器外与围栏（墙）的净距不应小于0.8m，相邻变压器外廓之间的净距应不小于1.5m。

落地式安装的配电变压器供给一级负荷用电时，相邻的可燃油与油浸式变压器的防火净距不应小于5m，若小于5m时，应设置防火墙。防火墙应高出油枕顶部，且墙两端应大于挡油设施各0.5m。

落地式安装配电变压器的优点是拆装比较方便，配电变压器容量不受限制。

配电变压器围栏（墙）外须挂“高压危险，不许攀登!”等警告牌，门要加锁，由专人保管。因变压器的带电部分距地面很低，因此必须在切断电源后方可进入围栏内。

第十一节　配电变压器并联运行

一、概述

为了使配电变压器能经济运行，减少电能损耗，在用电负荷较大时，可将两台配电变压器并联运行；当用电负荷较小时，可将其中一台配电变压器退出运行。

二、并联运行的条件

并联运行是指将两台及以上变压器的高、低压侧分别并联起来使用，以增加其供电容量。其接线如图2-34所示。

变压器并联运行时，必须满足以下三个条件：

1）电压比相等。

2）阻抗电压相等。

3）联结组标号相同。

三、并联运行前的试验

变压器并联运行前必须进行定相试验。其试验方法如下：

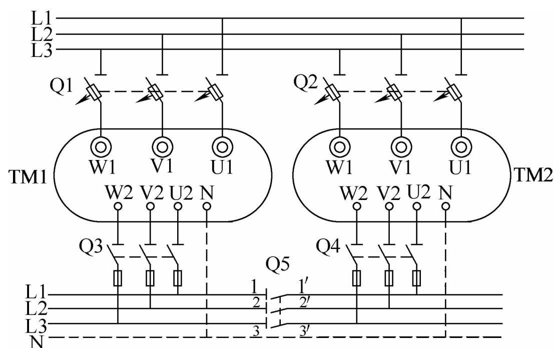


图2-34　变压器并联运行接线

先按图2-34把两台电压比相等、联结组标号相同的变压器接好线，合上高压跌落式熔断器Q1和Q2（在合Q1和Q2前应检查低压侧的Q3、Q4和Q5都应在拉开位置），合上低压开关Q3和Q4（合前应检查Q5应在拉开位置），用电压表测量开关Q5两端1—1′、2—2′、3—3′的电压。只有这些电压均为零或极小（1～2V）时，方可将Q5合上，实行并联运行。若所测Q5两端的电压很大（接近380V），说明接线错误而使两台变压器接线的相序不一致，应调其中一台变压器引出线的相序使两台变压器相序一致。为了确认试验时电压表完好无误，在每次测量前后都要测一下相线对中性线的电压，看电压表指示是否正确。上述试验叫做定相试验。

凡新装、变动过内外接线和改变过联结组标号的变压器，在并联运行前都必须做定相试

验。

四、并联运行负荷分担计算

两台配电变压器并联运行时等效阻抗如图 2-35 所示。

配电变压器等效阻抗为

$$Z_{T}=\frac{Z_{T1}Z_{T2}}{Z_{T1}+Z_{T2}} \tag{2-11}$$

配电变压器分担的电流按式（2-12）计算，即

$$\left.\begin{aligned}I_{T1}&=I\frac{Z_{T2}}{Z_{T1}+Z_{T2}}=I\frac{1}{1+\dfrac{Z_{T1}}{Z_{T2}}}\\I_{T2}&=I\frac{Z_{T1}}{Z_{T1}+Z_{T2}}=I\frac{1}{1+\dfrac{Z_{T2}}{Z_{T1}}}\end{aligned}\right\} \tag{2-12}$$

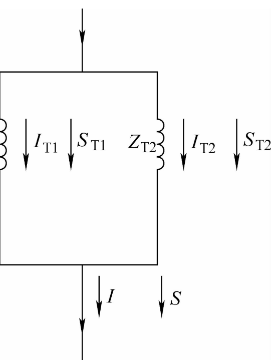


图 2-35　配电变压器并联运行等效阻抗

由此，配电变压器分担的负荷可按式（2-13）计算，即

$$\left.\begin{aligned}S_{T1}&=S\frac{1}{1+\dfrac{Z_{T1}}{Z_{T2}}}\\S_{T2}&=S\frac{1}{1+\dfrac{Z_{T2}}{Z_{T1}}}\end{aligned}\right\} \tag{2-13}$$

式中，S_{T1}为第 1 台配电变压器分担的负荷，单位为 kV · A；S_{T2}为第 2 台配电变压器分担的负荷，单位为 kV · A；Z_{T1}为第 1 台配电变压器的阻抗，单位为 mΩ；Z_{T2}为第 2 台配电变压器的阻抗，单位为 mΩ；S 为两台配电变压器的额定容量之和，单位为 kV · A。

两台配电变压器并联运行时过负荷可按式（2-14）计算，即

$$\left.\begin{aligned}\Delta S_{T1}\%&=\frac{S_{N1}-S_{T1}}{S_{N1}}\times100\%\\\Delta S_{T2}\%&=\frac{S_{N2}-S_{T2}}{S_{N2}}\times100\%\end{aligned}\right\} \tag{2-14}$$

式中，$\Delta S_{T1}\%$ 为第 1 台配电变压器过负荷百分数；$\Delta S_{T2}\%$ 为第 2 台配电变压器过负荷百分数；S_{N1}、S_{N2}为第 1 台、第 2 台配电变压器的额定容量，单位为 kV · A；S_{T1}、S_{T2}为第 1 台、第 2 台配电变压器并联运行时分担的负荷，单位为 kV · A。

【例 2-1】 某工厂两台配电变压器并联运行，第 1 台为 SBH16-M-800/10 型，电压 10/0.4kV，联结组 Dyn11，阻抗电压 $u_{K1}\%=4.5\%$；第 2 台为 SBH16-M-1600/10 型，电压 10/0.4kV，联结组 Dyn11，阻抗电压 $u_{K2}\%=4.5\%$。要求两台配电变压器额定容量运行，总容量 $S=S_{N1}+S_{N2}=(800+1600)\text{kV}\cdot\text{A}=2400\text{kV}\cdot\text{A}$，试计算每台配电变压器过负荷率。

解： 两台配电变压等效阻抗分别按式（1-31）计算，得

$$Z_{T1}=\frac{u_{K1}U_{N2}^{2}}{100S_{N1}}\times10^{6}=\frac{4.5\times0.4^{2}}{100\times800}\times10^{6}\text{m}\Omega=9\text{m}\Omega$$

$$Z_{T2}=\frac{u_{K2}U_{N2}^2}{100S_{N2}}\times10^6=\frac{4.5\times0.4^2}{100\times1600}\times10^6\mathrm{m\Omega}=4.5\mathrm{m\Omega}$$

第1台配电变压器输出容量按式（2-13）计算，得

$$S_{T1}=(S_{N1}+S_{N2})\frac{1}{1+\frac{Z_{T1}}{Z_{T2}}}=(800+1600)\times\frac{1}{1+\frac{9}{4.5}}\mathrm{kV\cdot A}=800\mathrm{kV\cdot A}$$

第2台配电变压器输出容量按式（2-13）计算，得

$$S_{T2}=(S_{N1}+S_{N2})\frac{1}{1+\frac{Z_{T2}}{Z_{T1}}}=(800+1600)\times\frac{1}{1+\frac{4.5}{9}}\mathrm{kV\cdot A}=1600\mathrm{kV\cdot A}$$

由此可知，这两台配电变压器并联运行时都没有过负荷。

第十二节　配电变压器的运行维护

一、新安装或大修后的配电变压器投运前的检查验收

配电变压器经过检修后或新安装竣工后，在投入运行前，都必须对变压器进行如下检查：

1. 变压器保护系统的检查

1）用熔丝保护的小型变压器，运行前应检查选用的熔丝规格是否符合要求，接触是否良好。

2）配备继电保护装置的变压器，应查阅继电保护试验报告，了解继电器的整定值是否相符，名称和标志是否正确，并试验信号装置动作是否正确。

3）配备气体继电器的变压器，要求继电器内部应没有气体，上触点发信号应动作准确，下触点跳闸连接片应断开，安装继电器的连通管应有向上的倾斜度。

4）防雷保护用避雷器，应在投入运行前做试验，保证雷击时能可靠动作，另外应装好放电记录器。

5）检查接地装置是否良好，接地电阻值是否符合规定数值。

送电前还要进行一次绝缘电阻的测量检查。

2. 监视装置的检查

监视装置用的电流表、电压表和温度测量仪表，均应齐全，测量范围应在规定的范围内，在额定值处画上红线，以便监视。小型变压器的顶部装有测量温度的温度计插孔，用酒精温度计插入观察。测温装置的温度计安装位置应正确。

3. 外表检查

储油柜上油位计应能清晰方便地观察；储油柜与气体断电器连通管道的阀门应打开，继电器内应充满油；外壳和中性点接地装置应牢固，出线套管与导线的连接应牢固，相序色标应正确。电压分接开关位置应正确。多台变压器应在箱壳明显处标注编号。防爆管薄膜应完整，各部件无渗漏油情况。

4. 查阅变压器的试验报告，均应符合试验规程的要求。

二、配电变压器的正常巡视检查

值班人员对运行中的变压器应作定期检查，以便了解和掌握变压器的运行状况，发现问题及时解决。

运行中变压器的正常巡视检查项目如下：

1）声音是否正常：正常运行的变压器发出均匀的“嗡嗡”声，应无沉重的过载引起的“嗡嗡”声，无内部过电压或局部放电打火的“吱吱”声；无内部零件松动、穿心螺钉不紧、铁心硅钢片振动的“蛍蛍”声，无系统短路时的大噪声，无大动力设备起动或有谐波设备运行的“哇哇”声等。

2）检查负载：

①室外安装的变压器，如没有固定安装的电流表时，应使用钳形电流表测量最大负载电流及代表性负载电流。

②室内安装的变压器装有电流表、电压表的，应记录每小时负荷并应画出日负载曲线。

③测量三相电流的平衡情况，对 Yyn0 联结组别的变压器，其中性线上的电流不应超过低压绕组额定电流的 25%。

④变压器的运行电压不应超出额定电压的 ±5% 范围。如果电源电压长期过高或过低，应调整变压器分接头，使低压侧电压趋于正常。

3）温度是否超过允许值，上层油温一般应不超过 85℃。

4）套管是否清洁，有无破损裂纹和放电痕迹，一、二次侧引线不应过紧、过松，各连接点是否紧固，应无放电及过热现象，测温用的示温蜡片应无熔化现象。

5）外壳接地及中性点接地的连接及接地电阻值应符合要求。

6）以手试摸散热器温度是否正常，各排散热管温度是否一致。

7）冷却系统是否运行正常，装有风扇的变压器应保持在运行或可用状态（风冷、强油风冷、水冷等)。

8）装备气体继电器和防爆管的变压器，应检查其充油及薄膜完整情况。

9）油位应正常，外壳清洁无渗漏油现象。

10）呼吸器应畅通，硅胶不应吸湿饱和，油封呼吸器的油位应正常。

三、配电变压器的特殊巡视检查

1）高温及重负载时，检查触头、接头有无过热现象，监视负载、油温、油位变化。冷却系统应运行正常。

2）大风来临前检查周围杂物，防止吹到设备上。大风时，观看引线摆动时的相间距离及对地安全距离是否满足要求和有无搭挂杂物。

3）雷电后检查瓷绝缘子有无放电痕迹，避雷器、避雷针是否放电，雷电记录器是否动作。

4）下雾天气，瓷套管有无放电打火现象，重点监视瓷质污秽部分。

5）下雪天气，根据积雪融化情况检查接头发热部位，及时处理结冰。

6）夜间熄灯巡视，检查绝缘子有无放电闪络现象及接头有无过热发红。

7）短路故障时，检查有关设备、接头有无异状。

8）有异常情况时，查看电压表、电流表读数及继电保护动作情况。气体继电器发出警

报时，对变压器内外部进行检查。

四、干式配电变压器的运行检查

1. 投入运行后的检查

1）有无异常声音、振动。

2）有无由于局部过热、有害气体腐蚀等使绝缘子表面出现爬电痕迹和碳化现象等造成的变色。

3）变压器所在房屋或柜内的温度是否特别高，其通风、换气状态是否正常，变压器的风冷装置运转是否正常。

2. 定期检查

1）投运后的2~3个月期间进行第一次检查，以后每年进行一次检查。

2）检查浇注型绕组和相间连接线有无积尘，有无龟裂、变色、放电等现象，绝缘电阻是否正常。

3）检查铁心风道有无灰尘、异物堵塞，有无生锈或腐蚀等现象。

4）检查调压分接开关触头有无过热变色、接触不良或锈蚀等现象。

5）检查绕组压紧装置是否松动。

6）检查指针式温度计等仪表和保护装置动作是否正常。

7）检查冷却装置包括电动机、风扇轴承等是否良好。

五、配电变压器过负荷运行

配电变压器日负荷率 $K_P<1$ 时，允许的过负荷曲线如图2-36所示。

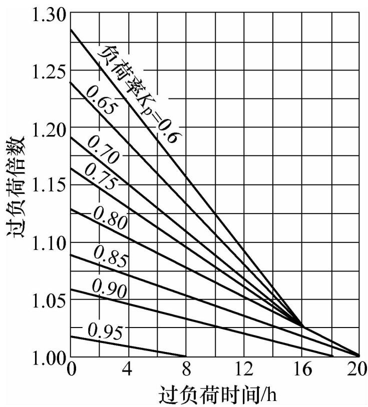


图2-36　过负荷曲线

如果缺乏配电变压器过负荷曲线资料时，也可根据配电变压器过负荷运行前的上层油温，确定允许过负荷倍数及允许过负荷的持续时间，见表2-25。

表2-25　自然冷却或风冷却油浸式电力变压器的过负荷允许时间

过负荷倍数	过负荷前上层油的温升/°C					
	18	24	30	36	42	48
1.05	5h50min	5h25min	4h50min	4h00min	3h00min	1h30min
1.10	3h50min	3h25min	2h50min	2h10min	1h25min	10min
1.15	2h50min	2h35min	1h50min	1h20min	35min	
1.20	2h05min	1h40min	1h15min	45min		
1.25	1h35min	1h15min	50min	25min		
1.30	1h10min	50min	30min			
1.35	55min	35min	15min			
1.40	40min	25min				
1.45	25min	10min				
1.50	15min					

第十三节　配电变压器异常故障处理

一、配电变压器出现强烈而不均匀的噪声且振动很大时的处理

变压器出现强烈而不均匀的噪声且振动很大，是由于铁心的穿心螺钉夹得不紧，使铁心松动，造成硅钢片间产生振动。振动能破坏硅钢片间的绝缘层，并引起铁心局部过热。如果有“吱吱”声，则是由于绕组或引出线对外壳闪络放电，或铁心接地线断线造成铁心对外壳感应而产生高电压，发生放电引起。放电的电弧可能会损坏变压器的绝缘介质，在这种情况下，运行或监护人员应立即汇报，并待采取措施。如保护不动作则应立即手动停用变压器，若有备用变压器则先投入备用变压器，再停用此台变压器。

二、配电变压器过热时的处理

配电变压器过热对其有损坏的。配电变压器绝缘损坏大多是由过热引起，温度的升高降低了绝缘材料的耐压能力和机械强度，DT/T 572—2010《电力变压器运行规程》中规定：变压器负载电流和温度限值，配电变压器热点温度与绝缘材料接触的金属部件的温度为140℃。由此可知，配电变压器最高热点温度达到140℃时，油中就会产生气泡，气泡会降低绝缘强度或引发闪络，造成配电变压器损坏。

配电变压器过热，对其使用的寿命影响极大。DL/T 572—2010《电力变压器运行规程》中规定，当周围环境空气最高温度为40℃时，自然循环自冷、风冷，最高顶层油温为95℃，则上层油温的允许温升为55℃。该规程同时规定自然循环冷却变压器的顶层油温一般不宜经常超过85℃。确保配电变压器的安全运行。

变压器温度异常升高的原因如下：

1）变压器过负荷。

2）冷却装置故障（或冷却装置未完全投入）。

3）变压器内部故障。如内部各接头发热、线圈有匝间短路、铁心存在短路或涡流不正常现象等。

4）温度指示装置误指示。

5）变压器大修后潜油泵阀门未打开，或阀门已打开，但开启不够。

发现变压器油温异常升高，应对以上可能的原因逐一进行检查，作出准确判断并及时作如下处理：

1）若运行仪表指示变压器已过负荷，单相变压器组三相各温度计指示基本一致（可能有几度偏差），变压器及冷却装置无故障迹象，则表示温度升高是由过负荷引起的，应按过负荷处理。

2）若冷却装置未完全投入或有故障，应立即处理，排除故障；若故障不能立即排除，则必须降低变压器运行负荷，按相应冷却装置冷却性能的对应值运行。

3）若远方测温装置发出温度报警信号，且指示温度值很高，而现场温度计指示并不高，变压器又没有其他故障现象，可能是远方测温回路故障误报警，这类故障可在适当的时候予以排除。

4）如果三相变压器组中某一相油温升高，明显高于该相在过去同一负荷、同样冷却条

件下的运行油温，而冷却装置、温度计均正常，则过热可能是由变压器内部的某种故障引起，应通知专业人员立即取油样作色谱分析，进一步查明故障。若色谱分析表明变压器存在内部故障，或变压器在负荷及冷却条件不变的情况下，油温不断上升，则应按现场规程规定将变压器退出运行。

5）若属于潜油泵阀门未打开，或阀门已打开，但开启不够，应申请停电处理。

三、配电变压器油位异常的原因及处理

变压器的油位是与油温相对应的，生产厂家应提供油位与温度曲线。当油位与温度不符合油位—温度曲线时，则油位异常。

引起油位异常的主要原因如下：

1）指针式油位计出现卡针等故障。

2）隔膜或胶囊下面储积有气体，使隔膜或胶囊高于实际油位。

3）吸湿器堵塞，使油位下降时空气不能进入，油位指示将偏高。

4）胶囊或隔膜破裂，使油进入胶囊或隔膜以上的空间，油位计指示可能偏低。

5）温度计指示不准确。

6）变压器漏油使油量减少。

7）大修后注油过满或不足。

8）变压器长期在大负荷下运行。

油位异常的处理如下：

1）发现变压器油位异常，应迅速查明原因，并视具体情况进行处理。特别是当油位指示超过满刻度或降到 0 刻度时，应立即确认故障原因并进行及时处理，同时应监视变压器的运行状态，出现异常情况，立即采取措施。主变压器油位可通过油位与油温的关系曲线来判断，并通过油位表的微动开关发出油位高或低的信号。

2）检查油箱吸湿器是否堵塞，有无漏油现象。查明原因汇报有关领导。

3）若油位异常降低是由主变压器漏油引起，则需迅速采取防止漏油措施，并立即通知有关部门安排处理。如大量漏油使油位显著降低时，禁止将气体保护改接信号。若变压器本体无渗漏，且有载调压油箱内油位正常，则可能是属于大修后注油不足（通过检查大修后的巡视记录与当前油位进行对比）。

4）若主油箱油位异常低，而有载调压油箱油位异常高，可能是主油箱与有载调压油箱之间密封损坏，造成主油箱的油向调压油箱内漏。

5）若油位因温度上升而逐渐上升，最高油温下的油位可能高出油位指示（并经分析不是假油位），则应放油至适当的高度以免溢出。应由检修单位处理。

若发现变压器油位异常时，应报缺陷，通知专业人员进行处理。

四、配电变压器油温升高的检查及处理

1）检查主变压器就地及远方温度计指示是否一致，用手触摸比较各相变压器油温有无明显差别。

2）检查主变压器是否过负荷。若油温升高是因长期过负荷引起，应向调度汇报，要求减轻负荷。

3）检查冷却设备运行是否正常。若冷却器运行不正常，则应采取相应的措施。

4）检查主变压器声音是否正常，油温是否正常，有无故障迹象。

5）若在正常负荷、环境和冷却器正常运行方式下主变压器油温仍不断升高，则可能是变压器内部有故障，应及时向调度汇报，征得调度同意后，申请将变压器退出运行，并作好记录。

6）判断主变压器油温升高，应以现场指示、远方打印和模拟量报警为依据，并根据温度—负荷曲线进行分析。若仅有报警，而打印和现场指示均正常，则可能是误发信号或测温装置本身有误。

五、配电变压器过负荷处理

1）运行中发现变压器负荷达到相应调压分接头的额定值 90% 及以上，应立即向调度汇报，并做好记录。

2）根据变压器允许过负荷情况，及时做好记录，并派专人监视主变压器的负荷及上层油温和绕组温度。

3）按照变压器特殊巡视的要求及项目，对变压器进行特殊巡视。

4）过负荷期间，变压器的冷却器应全部投入运行。

5）过负荷结束后，应及时向调度汇报，并记录过负荷结束时间。

六、配电变压器气体继电器报警原因及处理

1. 变压器气体继电器报警的原因

1）变压器内部有较轻微故障产生气体。

2）变压器内部进入空气。

3）外部发生穿越性短路故障。

4）油位严重降低至气体继电器以下，使气体继电器动作。

5）直流多点接地、二次回路短路。

6）受强烈振动影响。

7）气体继电器本身问题。

2. 气体继电器报警后的处理

1）检查是否因主变压器漏油引起。

2）检查主变压器油位和绕组温度，声音是否正常。

3）检查气体继电器内有无气体，若存在气体，应取气体进行分析。

4）检查二次回路有无故障。

5）若气体继电器内气体为无色、无臭、不可燃，色谱分析为空气，则主变压器可继续运行，若信号动作是因为油中剩余空气逸出或强油循环系统吸入空气而动作，而且信号动作时间间隔逐次缩短，将造成跳闸时，则应将气体保护改接信号；若气体是可燃的，色谱分析后其含量超过正常值，经常规试验给予综合判断，如说明主变压器内部已有故障，必须将主变压器停运，以便分析动作原因和进行检查、试验。

6）储油柜、压力释放装置有无喷油、冒油，盘根和塞垫有无凸出变形。

七、配电变压器气体继电器动作原因及处理

1. 变压器气体继电器动作的原因

1）变压器内部故障。

2）二次回路问题误动作。

3）某些情况下，由于储油柜内的胶囊（隔膜）安装不良，造成吸湿器堵塞。油温发生

变化后，吸湿器突然冲开，油流冲动使气体继电器误动跳闸。

4）外部发生穿越性短路故障。

5）变压器附近有较强的振动。

2. 变压器气体继电器保护动作后，值班人员应进行下列检查

1）检查变压器各侧断路器是否跳闸。

2）油温、油位、油色情况。

3）变压器差动保护是否掉牌。

4）气体继电器保护动作前，电压、电流有无波动。

5）储油柜、压力释放和吸湿器是否破裂，压力释放装置是否动作。

6）有无其他保护动作信号。

7）外壳有无鼓起变形，套管有无破损裂纹。

8）各法兰连接处、导油管等处有无冒油。

9）气体继电器内有无气体，或收集的气体是否可燃。

10）气体继电器保护掉牌能否复归，直流系统是否接地。

11）检查故障录波器录波情况。

通过上述检查，未发现任何故障象征，可判定气体继电器误动作。

3. 变压器气体继电器动作后的处理

1）立即投入备用变压器或备用电源，恢复供电，恢复系统之间的并列。若同时分路中有保护动作掉牌时，应先断开该断路器。失压母线上有电容器组（或静补）时，先断开电容器组（或静补）断路器。

2）经判定为内部故障，未经内部检查并试验合格，不得重新投入运行，以防止扩大事故。

3）若外部检查无任何异常，取气分析无色、无味、不可燃，气体纯净无杂质，同时变压器其他保护未动作，跳闸前气体继电器报警时，变压器声音、油温、油位、油色无异常，则可能属进入空气太多、析出太快，应查明进气的部位并处理。无备用变压器时，根据调度和上级主管领导的命令，试送一次，严密监视运行情况，由检修人员处理密封不良问题。

4）外部检查无任何故障迹象和异常，变压器其他保护未动作，取气分析，气体颜色很淡、无味、不可燃，即气体的性质不易鉴别（可疑），无可靠的根据证明属误动作，且无备用变压器和备用电源者，则根据调度和主管领导命令执行，拉开变压器的各侧隔离开关，遥测绝缘电阻无问题，放出气体后试送一次，若不成功应做内部检查。有备用变压器者，由专业人员取样进行化验，试验合格后方能投运。

5）外部检查无任何故障迹象和异常，气体继电器内无气体，证明确属误动跳闸。①若其他线路上有保护动作信号掉牌，气体继电器动作掉牌信号能复归，属外部有穿越性短路引起的误动跳闸，故障线路隔离后，可以投入运行；②若其他线路上无保护动作信号掉牌，气体继电器动作掉牌信号能复归，可能属振动过大原因误动跳闸，可以投入运行。

八、压力释放阀动作后的检查及处理

（1）压力释放装置动作的原因：①内部故障；②变压器承受大的穿越性短路；③压力释放装置二次信号回路故障；④大修后变压器注油较满；⑤负荷过大，温度过高，致使油位

上升而向压力释放装置喷油。

（2）检查及处理：①检查压力释放阀是否喷油；②检查保护动作情况、气体继电器情况；③主变压器油温和绕组温度、运行声音是否正常，有无喷油、冒烟、强烈噪声和振动；④是否是压力释放阀误动；⑤在未查明原因前，主变压器不得试送；⑥压力释放阀动作发出一个连续的报警信号，只能通过恢复指示器人工解除；⑦若仅压力释放装置喷油但无压力释放装置动作信号，则可能是（1）点中的④、⑤所致。

储油柜或压力释放装置喷油，表明变压器内部已有严重损伤。喷油使油面降低到油位计最低指示限度时，有可能引起气体保护动作。如果气体保护不动作而油面已低于顶盖时，则会引起出线绝缘性能降低，造成变压器内部有“吱吱”的放电声。而且，顶盖下形成空气层，使油质劣化，因此，发现这种情况，应立即切断变压器电源，以防事故扩大。

九、冷却装置的故障处理

冷却装置是通过变压器油帮助绕组和铁心散热。冷却装置正常与否，是变压器正常运行的重要条件。在冷却设备存在故障或冷却效率达不到设计要求时，变压器是不宜满负荷运行的，更不宜过负荷运行。需要注意的是：在油温上升过程中，绕组和铁心的温度上升快，而油温上升较慢，可能从表面上看油温上升不多，但铁心和绕组的温度已经很高了。所以，在冷却装置存在故障时，不仅要观察油温，还应注意变压器运行的其他变化，综合判断变压器的运行状况。

冷却装置常见的故障及处理方法如下：

1）冷却装置电源故障。冷却装置常见的故障就是电源故障，如熔断器熔断、导线接触不良或断线等。当发现冷却装置整组停运或个别风扇停转以及潜油泵停运时，应检查电源，查找故障点，迅速处理。若电源已恢复正常，风扇或潜油泵仍不能运转，则可按动热继电器复归按钮试一下。若电源故障一时来不及恢复，且变压器负荷又很大，可采取用临时电源使冷却装置先运行起来，再去检查和处理电源故障。

2）机械故障。冷却装置的机械故障包括电动机轴承损坏、电动机绕组损坏、风扇叶变形及潜油泵轴承损坏等。这时需要尽快更换或检修。

3）控制回路故障。控制回路中的各元器件损坏、引线接触不良或断线、触头接触不良时，应查明原因迅速处理。

十、配电变压器跳闸后的检查及处理

1）根据断路器的跳闸情况、保护的动作掉牌或信号、事件记录器（监控系统）及其监测装置来显示或打印记录，判断是否为变压器故障跳闸，并向调度汇报。

2）检查变压器跳闸前的负荷、油位、油温、油色，变压器有无喷油、冒烟，瓷套有否闪络、破裂，压力释放阀是否动作或其他明显的故障迹象，作用于信号的气体继电器内有无气体等。

3）检查所用电的切换是否正常，直流系统是否正常。

4）若本站有两台主变压器，应检查另一台变压器冷却器运行是否正常，并严格监视其负荷情况。

5）分析故障录波的波形和微机保护打印报告。

6）了解系统情况，如保护区内外有无短路故障及其他故障等。

若检查发现下列情况之一者，应认为跳闸由变压器故障引起的，则在排除故障后，并经

电气试验、色谱分析以及其他针对性的试验证明故障确已排除后，方可重新投入运行。

1）从气体继电器中抽取的气体经分析判断为可燃性气体。

2）变压器有明显的内部故障特征，如外壳变形、油位异常、强烈喷油等。

3）变压器套管有明显的闪络痕迹或破损、断裂等。

十一、配电变压器的应急停运

遇有以下情况时，应立即将变压器停止运行。若有备用变压器，应尽可能将备用变压器投入运行。

1）变压器内部声响异常或声响明显增大，并伴随有爆裂声。

2）在正常负荷和冷却条件下，变压器温度不正常并不断上升。

3）压力释放装置动作或向外喷油。

4）严重漏油使油面降低，并低于油位计的指示限度。

5）油色变化过大，油内出现大量杂质等。

6）套管有严重的破损和放电现象。

7）冷却系统故障，断水、断电、断油的时间超过了变压器的允许时间。

8）变压器冒烟、着火、喷油。

9）变压器已出现故障，而保护装置拒动或动作不明确。

10）变压器附近着火、爆炸，对变压器构成严重威胁。

十二、配电变压器的着火处理

1）配电变压器着火时，应立即断开各侧断路器和冷却装置电源，使各侧至少有一个明显的断开点，然后用灭火器进行补救并投入水喷雾装置，同时立即通知消防队。

2）若油溢在主变压器顶盖上着火时，则应打开下部油门放油至适当油位；若主变压器内部故障引起着火时，则不能放油，以防主变压器发生严重爆炸。

3）消防队前来灭火，必须指定专人监护，并指明带电部分及注意事项。

十三、判断配电变压器故障的试验项目

（1）当油中气体分析判断有异常时可选择下列试验项目：

1）绕组直流电阻。

2）铁心绝缘电阻和接地电流。

3）空载损耗和空载电流测量或长时间空载（或轻负载下）运行，用油中气体分析及局部放电检测仪监视。

4）长时间负载（或用短路法）试验，用油中气体色谱分析监视。

5）油泵及水冷却器检查试验。

6）有载调压开关油箱渗漏检查试验。

7）绝缘特性（绝缘电阻、吸收比、极化指数、$\tan\delta$、泄漏电流）。

8）绝缘油的击穿电压、$\tan\delta$。

9）绝缘油含水量。

10）绝缘油含气量（500kV）。

11）局部放电（可在变压器停运或运行中测量）。

12）绝缘油中糠醛含量。

13）耐压试验。

14）油箱表面温度分布和套管端部接头温度。

（2）气体继电器报警后，进行变压器油中溶解气体和继电器中的气体分析。

（3）变压器出口短路后可进行下列试验：

1）油中溶解气体分析。

2）绕组直流电阻。

3）短路阻抗。

4）绕组的频率响应。

5）空载电流和损耗。

（4）判断绝缘介质受潮可进行下列试验：

1）绝缘特性（绝缘电阻、吸收比、极化指数、tanδ、泄漏电流）。

2）绝缘油的击穿电压、tanδ、含水量、含气量（500kV）。

3）绝缘纸的含水量。

（5）判断绝缘介质老化可进行下列试验：

1）油中溶解气体分析（特别是 CO、CO_2 含量及变化）。

2）绝缘油酸值。

3）油中糠醛含量。

4）油中含水量。

5）绝缘纸或纸板的聚合度。

（6）振动、噪声异常时可进行下列试验：

1）振动测量。

2）噪声测量。

3）油中溶解气体分析。

4）阻抗测量。

第十四节　配电变压器的检修

一、检修周期

1）小修周期。一般每年 1 次。安装在污秽地区的变压器，其小修周期应在现场规程中予以规定。

2）大修周期。一般在投入运行后的 5 年内和以后每间隔 10 年进行吊心检修一次。

变压器运行中发生故障，或在预防性试验中发现问题，也应该进行吊心检修。

二、变压器小修项目

1）处理已发现的缺陷。

2）放出储油柜积污器中的污油。

3）检修油位计，调整油位。

4）检修冷却装置：包括油泵、风扇、油流继电器、差压继电器等，必要时吹扫冷却器管束。

5）检修安全保护装置：包括储油柜、压力释放阀（安全气道）、气体继电器、速动油压继电器等。

6）检修油保护装置。

7）检修测温装置：包括压力式温度计、电阻温度计（绕组温度计）、棒形温度计等。

8）检修调压装置、测量装置及控制箱，并进行调试。

9）检查接地系统。

10）检修全部阀门和塞子，检查全部密封状态，处理渗漏油。

11）清扫油箱和附件，必要时进行补漆。

12）清扫外绝缘子和检查导电接头（包括套管将军帽）。

13）按有关规程规定进行测量和试验。

三、变压器大修项目

1）吊开钟罩检修器身，或吊出器身检修。

2）绕组、引线及磁（电）屏蔽装置的检修。

3）铁心、铁心紧固件（穿心螺杆、夹件、拉带、绑带等）、压钉、连接片及接地片的检修。

4）油箱及附件的检修，包括套管、吸湿器等。

5）冷却器、油泵、水泵、风扇、阀门及管道等附属设备的检修。

6）安全保护装置的检修。

7）油保护装置的检修。

8）测温装置的校验。

9）操作控制箱的检修和试验。

10）无励磁分接开关和有载分接开关的检修。

11）全部密封胶垫的更换和组件试漏。

12）必要时对器身绝缘介质进行干燥处理。

13）变压器油的处理或换油。

14）清扫油箱并进行喷涂油漆。

15）大修的试验和试运行。

四、竣工验收项目

变压器投入运行前，施工单位需向运行单位移交下列技术文件和图样。

（1）新设备安装竣工后需交以下材料：

1）制造厂提供的说明书、图样及出厂试验报告。

2）本体、冷却装置及各附件（套管、互感器、分接开关、气体继电器、压力释放阀及仪表等）在安装时的交接试验报告、器身吊检时的检查及处理记录等。

3）安装全过程（按 GB 50148—2010《电气装置安装工程　电力变压器、油浸电抗器、互感器施工及验收规范》和制造厂的有关规定）记录。

4）变压器冷却系统，有载调压装置的控制及保护回路的安装竣工图。

5）油质化验及色谱分析记录。

6）备品配件清单。

（2）检修竣工后需交以下材料：

1）变压器及附属设备的检修原因及检修全过程记录；

2）变压器及附属设备的试验记录；

3）变压器的干燥记录；

4）变压器的油质化验、色谱分析、油处理记录。

第十五节　配电变压器的电气试验

一、配电变压器的电气试验项目

电气设备的绝缘介质在制造、运输、检修过程中，有可能因发生意外事故而残留有缺陷。在长期运行中，会受到水分、潮气的侵入，还会受到机械应力作用、电场力作用、导体发热作用等各种因素的影响，使绝缘介质逐渐发生老化甚至形成缺陷，而绝缘介质缺陷的存在及发展也会造成设备损坏。通过试验，可以把隐藏的缺陷检查出来，从而避免电力系统因设备损坏而发生意外的停电事故，提高电力系统运行的安全性和可靠性。

电气设备的预防性试验是为了保证电力系统的安全运行，预防电气设备损坏。通过试验手段，掌握电气设备的绝缘情况，从而进行相应的维护、检修甚至更换，是防患于未然的有效措施。

对于新安装或大修后的电气设备，也要进行试验，称为交接验收试验。其目的是鉴定电气设备本身及其安装或大修的质量，以确定设备能否投入运行。

变压器的常规电气试验可用以检测其内部缺陷或故障，各试验项目的目的并不一样。

1）电压比试验。测量不同侧绕组所有分接电压的大小，以验证其比值是否等于电压比，分接开关接线是否正确。发生故障后还可以判断绕组匝间或层间有无短路。

2）绕组直流电阻测定。用以判断导线焊接质量是否良好，绕组有无短路，多股并绕的绕组有无断股，分接开关接触是否良好或引线有无断裂等。

3）绝缘电阻及吸收比（R_{60}/R_{15}）测定。用 2500V 绝缘电阻表测量 60s 时的绝缘电阻 R_{60} 值与 15s 时的绝缘电阻 R_{15} 值，R_{60} 值即为绝缘电阻值，R_{60}/R_{15} 称为吸收比。此项试验是判断变压器绝缘介质劣化和受潮程度的灵敏指标。由吸收比 R_{60}/R_{15} 值，可反映出绝缘纸板、套管及绕组绝缘层的局部缺陷或受潮程度。

4）$\tan\delta$ 测定。测量介质损耗因数 $\tan\delta$，用以确定绝缘介质受潮的程度，绝缘结构中的缺陷，绝缘介质中是否含有气体、干枯、分层断裂等局部缺陷。用于发现电容量较小的试品（如电容型套管、互感器、耦合电容器）的局部缺陷及鉴别绝缘油油质的优劣，灵敏度很高。

5）油的试验。内部故障会影响油质的变化，所以通过油的耐压、$\tan\delta$、酸值、微量水分等试验可间接反映出变压器的内部缺陷。

6）耐压试验可用以判断相间及对地的绝缘状况。

7）空载和负荷试验。通过对测量值与原始值的比较，可以确定绕组有无层间、匝间短路等故障。

二、配电变压器的常规电气试验方法

1. 绕组直流电阻测定

绕组电阻可采用电桥法和电压降法测定。电阻值在 $10^{-5}\sim1\Omega$ 选用双臂电桥，电阻值在 $1\sim10^{6}\Omega$ 选用单臂电桥。用压降法时则以 2～12V 蓄电池作电源，电压表和电流表的接线应按被测阻值的大小分别按图 2-37a、b 直接接在被测绕组的端子上。先接通电源，且待电流

稳定后再接入电压表。在切断电源前，先切断电压表。所测的电阻值 $R_\theta = U/I$。

绕组电阻的测量要在绕组温度 θ 与环境温度一致的状态下进行，所以测试的电流应小于绕组额定电流的 20%，以免因绕组发热而引起误差。测量值 R_θ 要以温度换算系数 K_θ 换算为参考温度下的阻值，即由环境温度 θ°C 下的阻值 R_θ 换算到 75°C 下的阻值 $R_{75°C}$，换算见式（2-15）。

$$R_{75°C} = K_\theta R_\theta \quad (2\text{-}15)$$

温度换算系数 $K_\theta = \dfrac{\alpha + 75}{\alpha + \theta}$是大于 1 的数值，表明绕组电阻是随温度升高而增大的。其中，θ 为测量时绕组的温度；α 是导线材料温度系数，铜为 235，铝为 225。

1.6MV · A 及以下的变压器，直流电阻相间差别一般不大于三相平均值的 4%，线间差别一般不大于三相平均值的 2%。

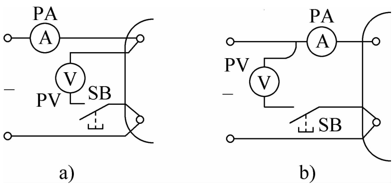


图 2-37　用压降法测量绕组电阻的原理图
a）测量小电阻（<1Ω）
b）测量大电阻（>1Ω）

2. 绝缘电阻及吸收比测定

用绝缘电阻表测量变压器的绝缘电阻（高压绕组对地、低压绕组对地、高压绕组对低压绕组），检查是否合格；油浸式变压器绝缘电阻的允许值见表 2-26。

表 2-26　10kV 油浸式变压器绝缘电阻的允许值　　（单位：MΩ）

试验项目	温度/°C							
	10	20	30	40	50	60	70	80
高压绕组对低压绕组	450	300	200	130	90	60	40	25
高压绕组对地	450	300	200	130	90	60	40	25
低压绕组对地	2				1			

注：1. 高压绕组对低压绕组和高压绕组对地用 2500V 绝缘电阻表。
2. 低压绕组对地用 1000V 绝缘电阻表。

电介质在直流电压作用下，内部通过稳定的泄漏电流，此时电压与电流的比值等于该介质的绝缘电阻，一般用绝缘电阻表摇测 60s 时所读取的 R_{60} 数值。绝缘电阻值随温度等因素而变化。

大型变压器需测量吸收比。因为任何绝缘体加上直流电压后，所通过的电流都是由充电、吸收和泄漏三种电流组成，前两种电流是衰减的且与绝缘体的受潮程度等有关，所以吸收比 R_{60}/R_{15} 应不低于 1.3（10～30°C 范围），否则可能是绝缘体受潮所致。

测量绝缘电阻应尽量在油温低于 50°C 时进行，不同温度下的绝缘电阻值一般可按下式换算：$R_2 = R_1 \times 1.5^{(t_1 - t_2)/10}$，其中 R_1、R_2 分别为 t_1、t_2 时的绝缘电阻值。换算公式表明绝缘电阻随温度升高而减小。

3. 电压比试验

绕组所有分接头的电压比试验可以用电压比电桥测量，电阻分压式电压比电桥是用分压器与一对绕组电压平衡而测得电压比的。也可以用双电压表法测量，一般在低压施加 100V 电压，测量高、低压侧电压，计算电压比。测试电压在 35kV 以下，电压比小于 3 的变压器，电压比允许偏差为 ±1%；其他所有变压器，额定分接头电压比允许偏差为 ±0.5%。其

他分接头的电压比在超过上述允许偏差时，应在变压器阻抗电压值（%）的 1/10 内，但不得超过 ±1%。

4. $\tan\delta$ 的测定

绝缘介质在交流电压作用下，不仅有泄漏电流产生的损耗，还有介质中的偶极子克服周围牵制力而转动和离子位移时因摩擦产生的损耗，这三种损耗称为介质损耗。一定绝缘材料中的介质损耗与介质损失角的正切值 $\tan\delta$ 成正比，为比较不同产品的介质损失大小，通常以介质损失率 $\tan\delta\%$ 来相对表示，$\tan\delta\%$ 是判断绝缘介质好坏的一项重要指标。

介质损耗率正切 $\tan\delta\%$ 一般采用西林电桥（如国产 QS1 型交流电桥）试验器进行测量，尽量在油温低于 50°C 时进行，不同温度下的 $\tan\delta$ 值可按下式换算：$\tan\delta_2 = \tan\delta_1 \times 1.3^{(t_1-t_2)/10}$，其中 $\tan\delta_1$、$\tan\delta_2$ 分别为 t_1、t_2 时的 $\tan\delta$ 值。$\tan\delta\%$ 随温度升高而增大。温度为 20°C 时 35kV 及以下的电力变压器，$\tan\delta\%$ 不大于 1.5%。

5. 变压器油的试验

变压器油的试验项目及要求，按 DL/T 596—1996《电力设备预防性试验规程》进行。

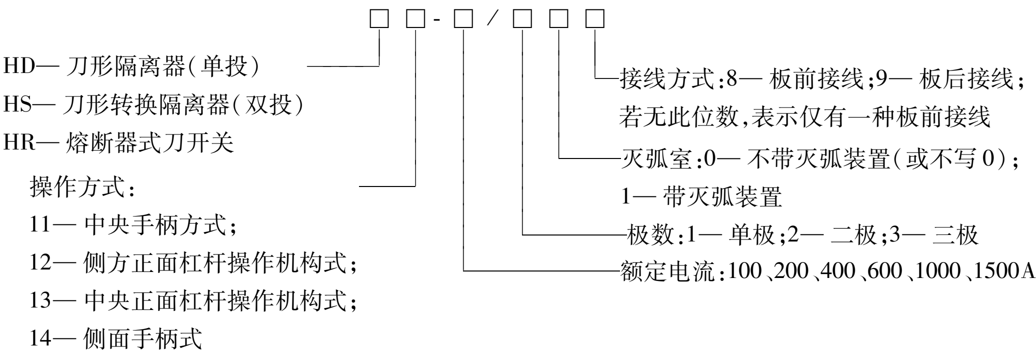
第三章　低 压 电 器

第一节　刀　开　关

一、概述

低压刀开关包括隔离刀开关、熔断器式刀开关和负荷开关等。它广泛应用于各种配电设备和供电线路中，可作为不频繁接通和分断低压供电线路，以及作为隔离电源以保证检修人员安全使用。

型号含义如下：



二、技术参数

HD 型单投刀开关的型号及规格见表 3-1。

表 3-1　HD 型单投刀开关的型号及规格

型　　号	额定电压/A	额定电流/A	极数	操作方式	接线方式
HD13-200/21	380	200	2	中央杠杆	板前或板后检修
HD13-200/31			3		
HD13-400/21		400	2		
HD13-400/31			3		
HD13-600/21		600	2		
HD13-600/31			3		
HD13-1000/21		1000	2		
HD13-1000/31			3		
HD13-1500/21		1500	2		
HD12-1500/31			3		
HD14-200/31		200	3	侧面手柄	板前接线
HD14-400/31		400			
HD14-600/31		600			

HS 型双投转换刀开关技术参数见表 3-2。

表 3-2　HS 型双投转换刀开关技术参数

额定电流/A	通断能力/A			额定电流/A	电寿命/次
	电压/V	功率因数 $\cos\varphi=0.72\sim0.8$	时间常数 $T=0.01\sim0.11s$		
100 200 400 600 1000	交流 380	I_N 及以下电流		100 200 400	1000
	直流 200		I_N 及以下电流		
	直流 440		$0.5I_N$ 及以下电流	600 1000	500

HS 型双投转换刀开关的稳定性技术参数见表 3-3。

表 3-3　HS 型双投转换刀开关的稳定性技术参数

额定电流/A	电动稳定电流(峰值)/kA		1s 热稳定性电流(有效值)/kA	机械寿命/次
	杠杆操作式	手柄式		
100	20	15	6	1000
200	30	20	10	
400	40	30	20	
600	50	45	25	5000
1000	60	50	30	
1500	80	—	40	

三、刀开关的安装

1）检查负荷电流是否超过刀开关的额定值，要严格按厂家规定的分断能力使用。

2）检查刀开关的动、静触头的接触是否良好。

3）安装的高度以操作方便和安全为原则，一般安装在离地面 1.3～1.5m。电源线和负载的进线都必须穿过开关的进出线孔，并在进出线孔加装橡皮垫圈。

4）开并在合闸位置时手柄应向上，不可倒装或平装。

5）电源进线应装在静触座上，用电负荷应接在开关的下出线端上。这样当开关断开后，触刀和熔丝上不带电，以保证更换熔丝时的安全。

6）检查操动机构是否完好，动作是否灵活，分、合闸是否准确到位，销钉、拉杆等有无缺损、断裂等现象。

7）检查合闸时三相是否同步，各相接触是否良好，否则会造成缺相运行。

8）刀开关一般应垂直安装在开关板或条架上，并使静触座位于上方，以防止触刀自动落下而发生误操作（双投开关除外）。

9）对 HR3 型刀熔开关，特别注意调整其同一相的上、下触头使其同时闭合，调好上、下触头间的中心位置，以使接触紧密。

刀开关中的 RT0 系列熔断器应固定在有弹簧钩子锁板的绝缘横梁上。当操作手柄向上

或向下转动时，横梁就随之前后移动，使熔断器触刀插入或脱出刀座，从而接通或分断电路。当熔断器熔断以后，只需将钩子按下，即可更换新熔断器。

10）检查压线螺钉是否完好，能否拧紧而不松扣。

11）开关的金属外壳应有可靠的保护接地或保护接零，防止发生触电事故。

四、刀开关的运行与维护

1）检查负荷电流是否超过刀形开关的额定值，要严格按厂家规定的分断能力使用。

2）检查刀形开关的动、静触头的接触是否良好，连接线是否松动，有无过热变色等现象。

3）检查绝缘连杆、底座等绝缘部分有无损坏和放电现象。

4）检查动、静触头有无烧伤及缺损，带有灭弧罩的开关应检查是否清洁完整。

5）检查操动机构是否完好，动作是否灵活，分、合闸是否准确到位，销钉、拉杆等有无缺损、断裂等现象。

6）检查合闸时三相是否同步，各相接触是否良好，否则会造成缺相运行。

7）无灭弧罩的刀开关作隔离电源用时，合闸顺序是先合上刀开关，再合上控制负载的开关电器，分闸顺序则相反，要先使控制负载的开关电器分闸，然后再拉开刀开关。

8）刀开关一般应垂直安装在开关板或条架上，并使静触座位于上方，以防止触刀自动落下而发生误操作（双投开关除外）。

9）对 HR3 型刀熔开关，特别注意调整其同一相的上下触头使其同时闭合，调好上、下触头间的中心位置，以使接触紧密。

刀开关中的 RT0 系列熔断器应固定在有弹簧钩子锁板的绝缘横梁上。当操作手柄向上或向下转动时，横梁就随之前后移动，使熔断器触刀插入或脱出刀座，从而接通或分断电路。当熔断器熔断以后，只需将钩子按下，即可更换新熔断器。

10）如果刀开关不是安装在封闭的箱内，则应该经常检查，防止因积尘过多而发生相间闪络现象。

11）对开启式负荷开关的安装、运行与维修还应注意以下几点：

①由于过负荷或短路故障，而使熔丝熔断，更换熔丝必须在开关断开的情况下进行。要先清理绝缘瓷底座和胶盖内壁表面附着的金属粉粒，再更换熔丝。新换上的熔丝应与原熔丝规格、材料相同。

②负荷较大时，为防止开关本体相间短路，可与熔断器配合使用。将熔断器装在开关的负荷侧，开关本体不再装熔丝，在应将装熔丝的位置上换上与线路导线截面积相同的铜线。此时，开启式负荷开关只作刀开关使用，短路及过负荷保护由熔断器承担。

③电源进线应装在静触座上，用电负荷应接在开关的下出线端上。这样当开关断开后，触刀和熔丝上不带电，以保证更换熔丝时的安全。

④开关在合闸位置时手柄应向上，不可倒装或平装。

⑤分断负载时，应尽快拉闸，以减小电弧的影响。

12）对封闭式负荷开关在安装、运行与维护方面还应特别注意以下几点：

①检查开关的机械联锁是否正常，速断弹簧有无锈蚀变形。

②检查压线螺钉是否完好，能否拧紧而不松扣。

③开关的金属外壳应有可靠的保护接地或保护接零，防止发生触电事故。

④安装的高度以操作方便和安全为原则，一般安装在离地面 1.3 ~ 1.5m 左右。电源线和负载的进线都必须穿过开关的进出线孔，并在进出线孔加装橡皮垫圈。

⑤接线时，应将电源线接在静触座的接线端子上，负荷线接在熔断器一端。如果接反进行检修时将会不安全。

⑥操作时，应用左手操作全闸，不允许面对着开关进行，以免万一发生故障伤人。

⑦更换熔丝必须在开关断开的情况下进行，且应换上与原熔丝规格相同的新熔丝。

五、刀开关的常见故障及处理方法（见表 3-4）

表 3-4　刀开关的常见故障及处理方法

故障现象	故　障　原　因	处理方法
远红外测温超过 70℃	（1）接触不良 （2）过负荷	（1）使刀开关合闸到位 （2）减少负荷
刀口和接头变色	（1）刀口接触不良 （2）接头松动 （3）过负荷	（1）使刀口合闸到位 （2）紧固接头 （3）减少负荷
全部烧红	过负荷	停电更换刀开关
瓷绝缘子外损或严重闪络	（1）瓷绝缘子老化 （2）环境污染	停电更换
刀开关拉不开	（1）损坏 （2）过负荷	（1）停电更换 （2）适当减轻负荷
不能合闸	机构损坏	停电更换或调整机构

第二节　智能化断路器的特点及功能

一、智能化断路器的特点

智能化断路器有框架式和塑料外壳式两种。框架式智能化断路器主要用作智能化自动配电系统中的主断路器，塑料外壳式智能化断路器主要用在配电网络中分配电能和作为线路及电源设备的控制与保护，亦可用作电动机的控制。传统的断路器的保护功能是利用了电磁效应原理，通过机械系统的动作来实现的。智能化断路器的特征是采用了以微处理器或单片机为核心的智能控制器（智能脱扣器），它不仅具备普通断路器的各种保护功能，同时还具备实时显示电路中的各种电气参数（电流、电压、功率、功率因数等），对电路进行在线监视、自行调节、测量、试验、自诊断、通信等功能；能够对各种保护功能的动作参数进行显示，设定和修改；保护电路动作时的故障参数能够存储在非易失存储器中，以便查询和分析。断路器具备结构先进、体积小、短路分断能力高、零飞弧等特点。

智能化断路器的核心部件采用智能型控制器或脱扣器，具有选择性保护功能，可避免不必要的停电，提高供电可靠性。大多智能控制器采用积木式配套方案，可直接安装于断路器本集中，无需重复二次接线，并有多种方案任意组合。

模数化小型断路器是组成终端组合电器的主要部件之一。终端电器是指装于线路末端的电器，用于对电路和用电设备进行配电、控制和保护等。利用断路器后面的安装槽及带弹簧

的夹紧卡子定位，拆卸方便。

模数化小型断路器由操动机构、热脱扣器、电磁脱扣器（电子式脱扣器）、触头系统、灭弧室等部件组成，所有部件都置于一绝缘外壳中。有的产品备有报警开关、辅助触头组，分励脱扣器、欠电压脱扣器和漏电脱扣器等附件，供需要时选用。断路器的短路保护由电磁脱扣器完成，过载保护采用双金属片式热脱器完成，额定电流5A以下的采用复式加热方式，额定电流5A以上的采用直接加热方式。该系列断路器可作为线路和交流电动机等用于工矿企业，建筑及家庭等场所。

二、智能控制器的基本功能

智能控制器分为电子型、标准型、通信型三种。一般具有以下功能：

1）多段保护功能。包括过载长延时反时限保护、短路短延时反时限保护、短路短延时定时限保护、短路瞬时保护、接地故障保护等多段保护功能。

2）指示功能。显示各种运行电流、接地故障电流，显示各线电压。显示正常运行最大相电流、整定、试验的电流值或时间值。目前的新产品还有触头损耗指示功能。

3）远端监控和自诊功能。脱扣器具有本机故障自诊断功能，当本机发生故障时能显示出错信息或报警，同时重新启动。当局部环境温度过高、过载、接地、短路，负载监控制、预报警、脱扣指示等信号通过触头或光耦输出发出报警。

4）整定功能。可对脱扣器各种参数进行整定，整定时能显示被整定区域（段）的电流、时间和区段类别。可对脱扣器各种保护特性进行检查。

5）负载监控制功能。可设置两种整定值。第一种为反时限特性，第二种为定时限特性。用于当电流接近过载整定值时分断下级不重要负载；或当电流超过某一整定值时，延时分断下级不重要负载，并使电流下降，使主回路和重要负荷回路保持供电，当电流下降到另一整定值时，经一定延时后发出指令再次接通下级已切除过的电路，恢复整个系统的供电。

6）热记忆功能。脱扣器过载或短路延时脱扣后，在脱扣器未断电之前，具有模拟双金属片特性的记忆功能。

7）通信接口功能。通过专用串行通信接口与计算机、可编程序控制器、CRT、打印机等连接，可把断路器编号、分合状态、脱扣器多种设定值、运行电流、电压，故障电流，动作时间及故障状态等多种参数进行网络传输，实现遥测、遥调、遥控、遥信功能。传输速率10、20、50、125、500、800kbit/s可选，通信距离不小于1.5km。控制器通过RS485或CAN总线接口实现双向传输各功能参数。

第三节 DW15系列万能式断路器

一、概述

DW15系列万能式空气断路器，是一种没有限流作用的普通万能式低压断路器，适用于交流50Hz、额定电压为380V、额定电流1000～4000A的低压配电系统。具有线路及电源设备的过负荷、欠电压和短路保护的功能。在电动机控制电路中，用以保护电动机过负荷、欠电压和短路。在正常情况下，断路器亦可用作电路的不频繁转换及电动机的不频繁启动保护。

DWX15系列限流万能式断路器，具有快速断开和抑制短路电流上升的特点，特别适用

于可能发生较大短路电流的电路中，它与普通万能式断路器不同之处在于它有专门的斥力触头和快速脱扣装置。

二、技术参数

1. DW15 系列万能式断路器技术参数（见表 3-5）

表 3-5　DW15 系列万能式断路器技术参数

名　　称	技术参数			
额定电压/V	380			
额定电流/A	1000	1500	2500	4000
脱扣器额定电流/A	600 800 1000	1500	1500 2000 2500	2500 3000 4000
通断能力/(kA/0.4s)	30	30	40	40

2. DWX15 系列限流万能式断路器技术参数（见表 3-6）

表 3-6　DWX15 系列限流万能式断路器技术参数

名　　称	技术参数		
额定电压/V	380		
额定电流/A	200	400	600
过电流脱扣器额定电流/A	100 150 200	200 300 400	300 400 600
配电用快速脱扣器整定电流/A	1000 1500 2000	2000 3000 4000	3000 4000 6000
通断能力/kA	50	50	70

三、结构原理

1. DW15 系列万能式断路器

DW15 系列万能式断路器结构示意如图 3-1 所示。

为了提高断路器的通断能力，采用单挡触头加弧角的结构，触头材料采用 Ag-Ni30 陶冶合金材料（动触头）和 AgW12C3 陶冶合金材料（静触头），接触电阻较小，而且耐电磨损和抗熔焊能力较强。过电流保护采用有三段保护特性的半导体脱扣器或具有两段保护特性的热脱扣器和电磁式脱扣器。欠电压脱扣器有瞬时动作及延时动作两种。在触头系统的下方装有过电流脱扣器，当触头系统中通过短路电流时，由于触头间的电动斥力及过电流脱扣器的作用，在操动机构脱扣之前，触头已断开，从而缩短了固有动作的时间，提高了分断短路电流的能力。DW15 系列断路器断流容量高，极限分断能力为 50kA。

DW15-1000 ~ DW15-4000 型低压断路器采用弹簧储能式操动机构，触头闭合速度与操作

速度无关。自由脱扣机构采用由凸轮传动的四连杆机构，使触头接通时能得到较大的闭合力。储能机构分为预储能机构和无预储能机构两种。有预储能机构的断路器的闭合动作分两步完成：当接受第一个预储能信号时，断路器进行储能过程，但断路器不闭合，储能弹簧处于拉紧状态；待第二次发出闭合信号后，释能电磁铁吸合，储能弹簧迅速收缩，约在 50 ~ 70ms 内使断路器闭合。无预储能机构的断路器储能和触头闭合过程是一次完成的，整个过程约需 1.5s。有预储能机构的断路器用于发电机投入电网和备用断路器迅速投入等场合。

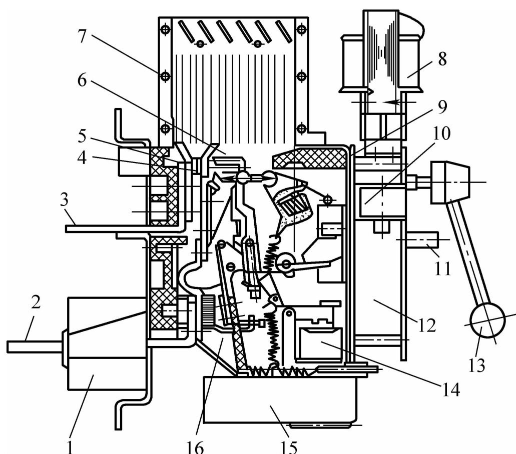


图 3-1　DW15 系列断路器结构示意图

1—互感器　2—下母线　3—上母线　4—动触头　5—静触头　6—触头弹簧　7—灭弧室　8—电磁铁传动机构　9—缓冲块　10—分励脱扣器　11—脱扣按钮　12—自由脱扣机构　13—操作手柄　14—欠压脱扣器　15—半导体脱扣器　16—过电流脱扣器

自由脱扣机构由凸轮、方轴、杠杆、S 杆、扇形板、脱扣半轴和复位弹簧等组成，其原理图如 3-2 所示。操作机构有三种操作位置，图 3-2a 相当于触头在断开位置，此时储能弹簧处于释能状态。当电动机操作或手动操作进行储能时，一方面将储能弹簧拉长（图中未画出储能弹簧），另一方面使方轴沿逆时针方向旋转。方轴带动凸轮沿逆时针方向旋转 195°时，扇形板在复位弹簧的拉动下绕 O1 轴沿顺时针方向转动，进入再扣位置，见图 3-2b。此时，若按下“合”按钮或使释能电磁铁通电吸合时，推动顶板绕 O2 轴逆时针方向转动，储能弹簧释能，凸轮沿逆时针方向快速旋转 165°，推动杠杆往上运动，使主轴逆时针方向转动，触头闭合，见图 3-2c。

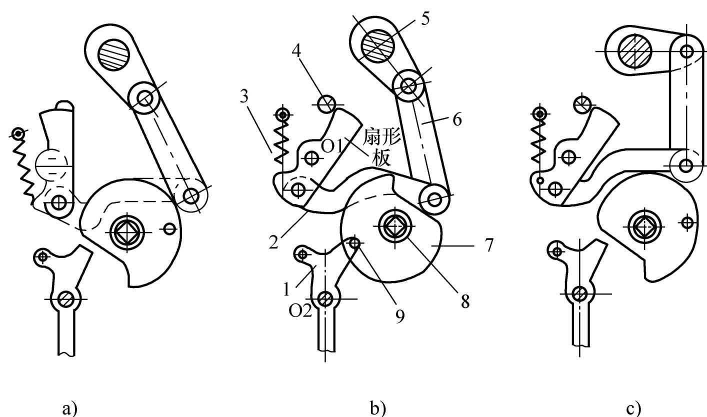


图 3-2　DW15-1000 ~ DW15-4000 型低压断路器自由脱扣机构原理

a）断开位置　b）储能再扣　c）闭合位置

1—顶板　2—S 杆　3—复位弹簧　4—脱扣半轴　5—主轴　6—杠杆　7—凸轮　8—主轴　9—滚珠

当触头闭合时，若按下“分”按钮或由于过电流、欠电压、分励脱扣等信号推动脱扣半轴逆时针方向转一角度时，扇形板将沿逆时针方向转动而解扣，在反力作用下，触头迅速断开。

电动机操作机构结构如图 3-3 所示。当操作电动机旋转时带动偏心轮旋转，使连杆和掣子做上下做复运动，电动机带动偏心轮每转一圈，将推动棘轮逆时针方向转过一齿，从而带动凸轮和方轴也按逆时针方向旋转，使储能弹簧拉伸。当凸轮转到某一位置顶开掣子时，棘轮就停止转动，与此同时，方轴上的另一凸轮使限位开关动作，切断电动机电源，完成储能。这种机构不需要电动机准确停转和的制动装置，储能时也没有累积偏差，结构简单，工作可靠。电动机为单相串励式，额定电压有直流 110V、220V 和交流 220V、380V 四种规格。

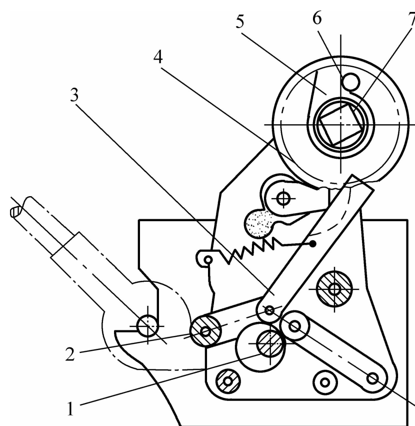


图 3-3　DW15 系列低压断路器的电动机操动机构

1—偏心轮　2—连杆　3—掣子　4—棘轮　5—凸轮　6—轴销　7—方轴

DW15C 为抽屉式结构断路器，由 DW15 派生而来，由断路器本体和抽屉座组成。DW15、DW15C 系列断路器中 1000A 及以上的产品采用电动机操动机构，而 630A 以下的产品则采用电磁铁操动机构。

2. 限流万能式断路器

DWX15 型限流万能式断路器的触头系统与快速脱扣的原理如图 3-4 所示。

DWX15 型限流万能式断路器触头的运动系统为五连杆机构，其中连杆 BE、EF 为可折连杆，当 BE 与 EF 连杆的连接点 E 向上越过死区，两连杆即成为一个刚性体，五连杆机构变成了四连杆机构。此时，若主轴 O1 逆时针转动，则通过连杆 BE、EF 使触头闭合，见图 3-4a。触头回路流过电流时，触头回路受到的电动斥力由三部分组成：触头接触头间的电动斥力 F_{ch}（作用在 A 点）、AB 段和 BC 段的电动力（分别为 F_{AB}和 F_{BC}），当回电流不大时，

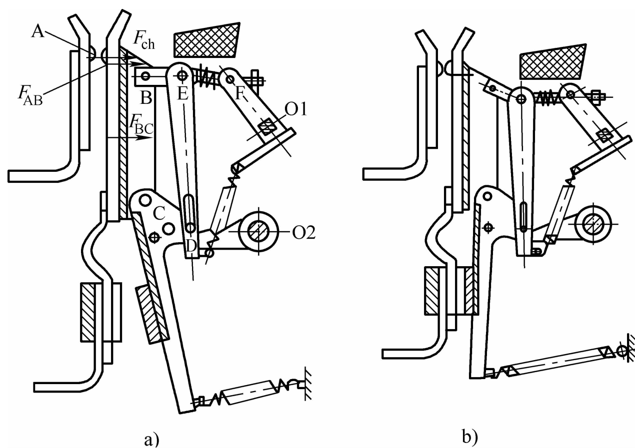


图 3-4　DWX15 型万能式限流断路器的触头快速脱扣原理

a）正常闭合状态　b）快速脱扣状态

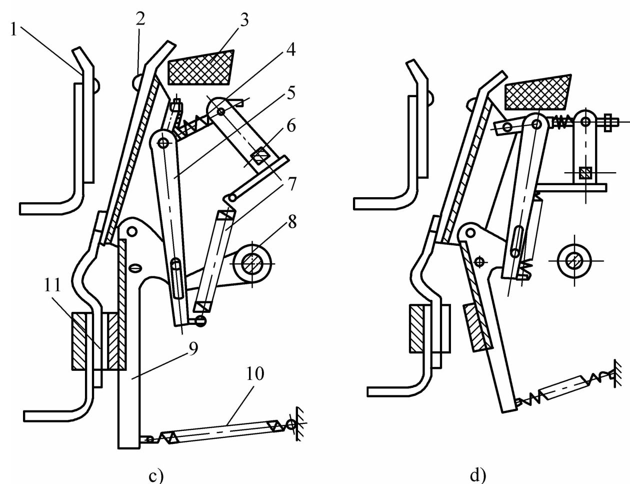


图 3-4　DWX15 型万能式限流断路器的触头快速脱扣原理（续）
c）快速分断过程　d）正常分断状态
1—静触头　2—动触头　3—缓冲件　4—触头弹簧　5—拉杆　6—主轴
7—复位弹簧　8—脱扣轴　9—杠杆　10—整定弹簧　11—快速电磁铁

由于这三个力的和小于触头弹簧力，触头仍能正常闭合。当出现短路电流时，$F_{ch}+F_{AB}<F_{BC}$，动触头导流排 ABC 将绕接触头 A 作反时针方向转动，C 点推动杠杆 9 绕轴 O 顺时针方向转动，D 点下移并通过拉杆 5 带动 E 点下移越过死区，连杆 BE 与 EF 恢复成两杆，见图 3-4b。于是触头处于无反力的情况下迅速斥开，进入图 3-4c 位置，此时触头开距最大。同时由于快速电磁铁动作，推动脱扣轴使自由脱扣机构释放，主轴 O1 顺时针方向转动，于是触头系统在复位弹簧的作用下进入正常断开位置，见图 3-4d。以上分析说明，短路时触头的电动斥开先于自由脱扣机构和触头主轴的动作，因而大大缩短了固有动作时间。限流万能式断路器触头系统的固有支作时间只有 1～2ms，全部分断时间在 10ms 以内。

第四节　Emax 系列智能化断路器

一、概述

ABB 公司生产的 Emax 系列 E1、E2、E3、E4、E6 断路器，额定电压为 690V，额定电流为 800～6300A。安装结构分为固定式、抽出式，采用弹簧操作机构。配有 PR121/P、PR122/P、PR123/P 三种电子脱扣器。具有过载、短路剩余电流、欠电压、过电压、超温等保护，并有测量、维护事件及数据、与中央监控系统的通信、超温报警及脱扣、用户界面、负荷测控等功能。

Emax 系列固定式断路器外形结构如图 3-5 所示，抽出式断路器外形结构如图 3-6 所示。抽出式断路器固定部分结构如图 3-7 所示。

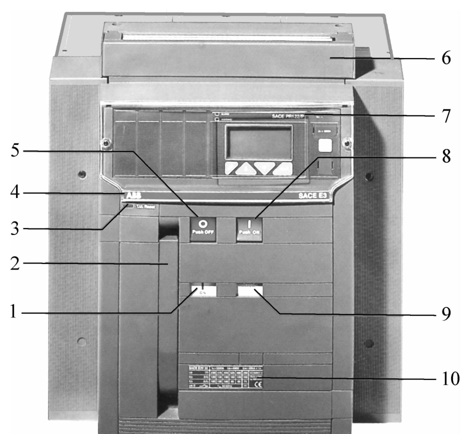


图 3-5　Emax 系列固定式断路器外形结构

1—机械指示，断路器处于分闸“O”或合闸“I”　2—手动弹簧储能操作手柄　3—脱扣器跳扣的机械指示　4—商标及断路器型号　5—手动分闸按钮　6—端子盒　7—SACE PR121/P、PR122/P 或 PR123/P 脱扣器　8—手动合闸按钮　9—表示弹簧已储能或已释能　10—电气额定值标签

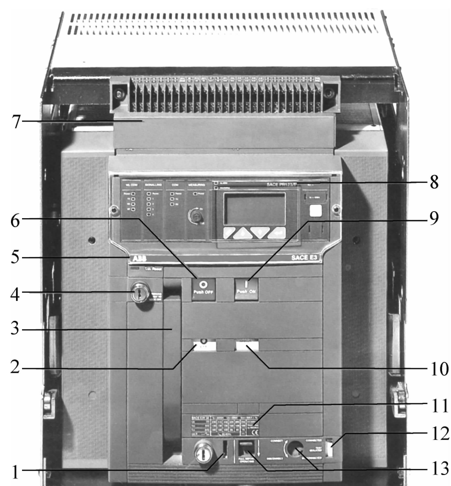


图 3-6　Emax 系列抽出式断路器外形结构

1—摇进/摇出位置的闭锁钥匙或挂锁（抽出式）　2—机械指示，断路器处于分闸“O”或合闸“I”　3—手动弹簧储能操作手柄　4—分闸位置锁　5—商标断路器型号　6—手动分闸按钮　7—滑动触头　8—SACE PR121/P、PR122/P 或 PR123/P 脱扣器　9—手动合闸按钮　10—表示弹簧已储能或已释放　11—电气额定值标签　12—断路器位置指示：连接/隔离测试/隔离　13—断路器摇进或摇出装置

注：“摇进”：指示主触头与辅助触头处于连接状态。
“摇出”：指示主触头与辅助触头处于隔离状态。
“隔离测试”：指主触头处于隔离状态，辅助触头处于连接状态。

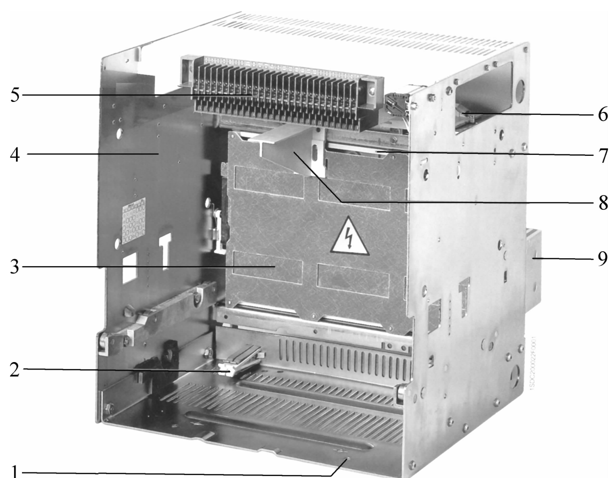


图 3-7　Emax 系列抽出式断路器固定部分结构

1—固定孔（E1、E2、E3 为 4 个，E4、E6 为 6 个）　2—双夹式接地接点（E4、E6 型），单夹式接地接点安装在左侧（E1、E2 和 E3 型）　3—安全遮板（防护等级 IP20）　4—钢板承载结构　5—滑动触头　6—推入、隔离、隔离测试用的信号接点　7—端子支承块　8—安全遮板的挂锁　9—端子（后接线式、前接线式或水平式）

二、技术参数

Emax 系列断路器共同特性参数见表 3-7。各项技术参数见表 3-8。

表 3-7　共同特性参数

名　　称		特性参数	名　　称	特性参数
电压	额定工作电压 U_e/V	690 ~	贮存温度/℃	-40 ~ +70
	额定绝缘电压 U_i/V	1000	频率 f/Hz	50、60
	额定冲击耐受电压 U_{imp}/kV	12	极数	3/4
运行温度/℃		-25 ~ +70	型式	固定式-抽出式

表 3-8　Emax 系列断路技术参数

名　　称		技　术　参　数						
性能水平		E1			E2			
		B	N	S	B	N	S	L
电流:额定不间断电流(40℃)/A		800	800	800	1600	1000	800	1250
		1000	1000	1000	2000	1250	1000	1600
		1250	1250	1250		1600	1250	
		1600	1600			2000	1600	
							2000	
4 极断路器的 N 极容量/% I_U		100	100	100	100	100	100	100
额定极限短路分断能力/kA	220/230/380/400/415V ~	42	50	65	42	65	85	130
	440V ~	42	50	65	42	65	85	110
	500/525V ~	42	50	65	42	55	65	85
	660/690V ~	42	50	65	42	55	65	85
额定运行短路分断能力/kA	220/230/380/400/415V ~	42	50	65	42	65	85	130
	440V ~	42	50	65	42	65	85	110
	500/525V ~	42	50	65	42	55	65	65
	660/690V ~	42	50	65	42	55	65	65
额定短时耐受电流能力/kA	(1s)	42	50	65	42	55	65	10
	(3s)	36	36	65	42	42	42	—
额定短路合闸能力(峰值)/kA	220/230/380/400/415V ~	88.2	105	143	88.2	143	187	286
	440V ~	88.2	105	143	88.2	143	187	242
	500/525V ~	75.6	76.6	143	84	121	143	187
	660/690V ~	75.6	75.6	143	84	121	143	187
使用类别(根据 IEC 60947-2)		B	B	B	B	B	B	A
隔离功能(根据 IEC EN 60947-2)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
过电流保护								
用于交流的电子脱扣器		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

（续）

名　　称	技　术　参　数						
性能水平	E1			E2			
	B	N	S	B	N	S	L
操作时间							
合闸时间（最大）/ms	80	80	80	80	80	80	80
分断时间 $I > I_{cw}$（最大）[1]/ms	70	70	70	70	70	70	70
分断时间 $I > I_{cw}$（最大）/ms	30	30	30	30	30	30	12
尺寸/mm							
固定式：H = 418mm − D = 302mmL（3/4 极）		296/386			296/386		
抽出式：H = 461mm − D = 396.5mmL（3/4 极）		324/414			324/414		
重量（断路器包括脱扣器和电流传感器，不包括附件）/kg							
固定式 3/4 极		45/54		50/61	50/61	50/61	52/63
抽出式 3/4 极（包括固定部分）		70/82		78/93	78/93	78/93	80/95

名　　称		技　术　参　数									
性能水平		E3					E4			E6	
		N	S	H	V	L	S	H	V	H	V
电流：额定不间断电流（40℃）/A		2500	1000	800	800	2000	4000	3200	3200	4000	3200
		3200	1250	1000	1250	2500		4000	4000	5000	4000
			1600	1250	1600					6300	5000
			2000	1600	2000						6300
			2500	2000	2500						
			3200	2500	3200						
				3200							
4 极断路器的 N 极容量/% I_U		100	100	100	100	100	50	50	50	50	50
额定极限短路分断能力/kA	220/230/380/400/415V ~	65	75	100	130	130	75	100	150	100	150
	440V ~	65	75	100	130	110	75	100	150	100	150
	500/525V ~	65	75	100	100	75	75	100	130	100	130
	660/690V ~	65	75	85[2]	100	85	75	85[2]	100	100	100
额定运行短路分断能力/kA	220/230/380/400/415V ~	65	75	85	100	130	75	100	150	100	125
	440V ~	65	75	85	100	110	75	100	150	100	125
	500/525V ~	65	75	85	85	65	75	100	130	100	100
	660/690V ~	65	75	85	85	65	75	85	100	100	100
额定短时耐受电流能力/kA	（1s）	65	75	75	85	15	75	100	100	100	100
	（3s）	65	65	65	65	—	75	75	75	85	85

（续）

名 称		技 术 参 数									
性能水平		E3					E4			E6	
		N	S	H	V	L	S	H	V	H	V
额定短路合闸能力(峰值)/kA	220/230/380/400/415V ~	143	165	220	286	286	165	220	330	220	330
	440V ~	143	165	220	286	242	165	220	330	220	330
	500/525V ~	143	165	187	220	187	165	220	286	220	286
	660/690V ~	143	165	187	220	187	165	187	220	220	220
使用类别(根据 IEC 60947-2)		B	B	B	B	A	B	B	B	B	B
隔离功能(根据 IEC EN 60947-2)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
过电流保护											
用于交流的电子脱扣器		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
操作时间											
合闸时间(最大)/ms		80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
分断时间 $I>I_{cw}$(最大)①/ms		70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
分断时间 $I>I_{cw}$(最大)②/ms		30	30	30	30	12	30	30	30	30	30
尺寸/mm											
固定式：$H=418$mm $-$ $D=302$mmL(3/4 极)				404/530				566/656		782/908	
抽出式：$H=461$mm $-$ $D=396.5$mmL(3/4 极)				432/558				594/684		810/936	
重量(断路器包括脱扣器和电流传感器,不包括附件)/kg											
固定式 3/4 极		66/80	66/80	66/80	66/80	72/83		97/117		140/160	
抽出式 3/4 极(包括固定部分)		104/125	104/125	104/125	104/125	110/127		147/190		210/260	

① 无时间延迟。

② 在 600V 时，分断容量是 100kA。

Emax 系列断路器，在开关柜内安装时，其持续载流能力及母排截面积见表 3-9。

表 3-9 Emax 系列断路器持续载流能力及母排截面积

断路器型号	额定电流/A	垂直式端子 持续载流能力/A			母排截面积/mm²	水平和前端子 持续载流能力/A			母排截面积/mm²
		35℃	45℃	55℃		35℃	45℃	55℃	
E1B/N/S 08	800	800	800	800	1×(60×10)	800	800	800	1×(60×10)
E1B/N/S 12	1250	1250	1250	1250	1×(80×10)	1250	1200	1250	2×(60×8)
E1B/N 16	1600	1600	1600	1500	2×(60×10)	1550	1450	1350	2×(60×10)
E2S 08	800	800	800	800	1×(60×10)	800	800	800	1×(60×10)
E2N/S 12	1250	1250	1250	1250	1×(60×10)	1250	1250	1250	1×(60×10)

（续）

断路器型号	额定电流/A	垂直式端子			母排截面积/mm^2	水平和前端子			母排截面积/mm^2
		持续载流能力/A				持续载流能力/A			
		35℃	45℃	55℃		35℃	45℃	55℃	
E2B/N/S 16	1600	1600	1600	1600	2×(60×10)	1600	1600	1530	2×(60×10)
E2B/N/S 20	2000	2000	2000	1800	3×(60×10)	2000	2000	1750	3×(60×10)
E2L 12	1250	1250	1250	1250	1×(60×10)	1250	1250	1250	1×(60×10)
E2L 16	1600	1600	1600	1500	2×(60×10)	1600	1500	1400	2×(60×10)
E3H/V 08	800	800	800	800	1×(60×10)	800	800	800	1×(60×10)
E3S/H/V 12	1250	1250	1250	1250	1×(60×10)	1250	1250	1250	1×(60×10)
E3S/H/V 16	1600	1600	1600	1600	1×(100×10)	1600	1600	1600	1×(100×10)
E3S/H/V 20	2000	2000	2000	2000	2×(100×10)	2000	2000	2000	2×(100×10)
E3N/S/H/V 25	2500	2500	2500	2500	2×(100×10)	2500	2450	2400	2×(100×10)
E3N/S/H/V 32	3200	3200	3100	2800	3×(100×10)	3000	2880	2650	3×(100×10)
E3L 20	2000	2000	2000	2000	2×(100×10)	2000	2000	1970	2×(100×10)
E3L 25	2500	2500	2390	2250	2×(100×10)	2375	2270	2100	2×(100×10)
E4H/V 32	3200	3200	3200	3200	3×(100×10)	3200	3150	3000	3×(100×10)
E4S/H/V 40	4000	4000	3980	3500	4×(100×10)	3600	3510	3150	6×(60×10)
E6V 32	3200	3200	3200	3200	3×(100×10)	3200	3200	3200	3×(100×10)
E6H/V 40	4000	4000	4000	4000	4×(100×10)	4000	4000	4000	4×(100×10)
E6H/V 50	5000	5000	4850	4600	6×(100×10)	4850	4510	4250	6×(100×10)
E6H/V 63	6300	6000	5700	5250	7×(100×10)	—	—	—	—

三、Emax 系列断路器的安装

1. 断路器在开关柜上的布置及其连接方式

断路器在开关柜上的布置方式如图 3-8 所示。



图 3-8　Emax 断路器在开关柜上的布置方式

断路器有开关柜四安装时，主断路器线路的连接方式如图 3-9 所示。

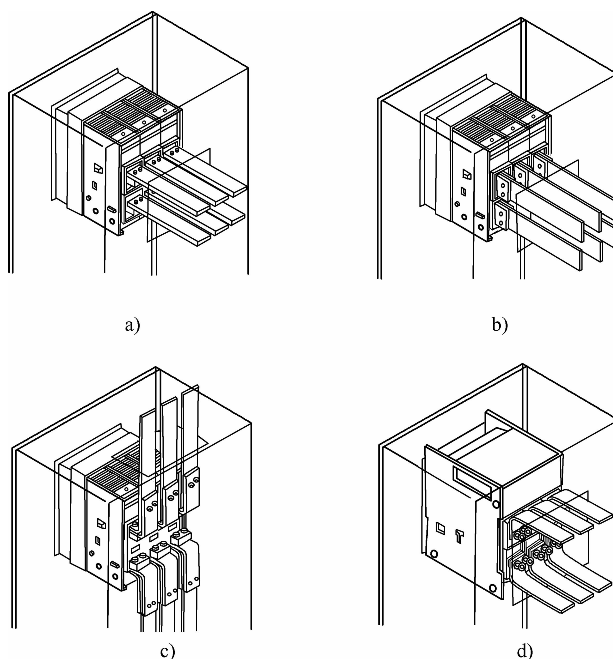


图 3-9　主断路器线路的连接方式

a）后水平式　b）后垂直式　c）前接线式　d）后平端子式

2. Emax 系列断路器外形结构及安装尺寸

固定式断路器水平后接线如图 3-10 ~ 图 3-13 所示。

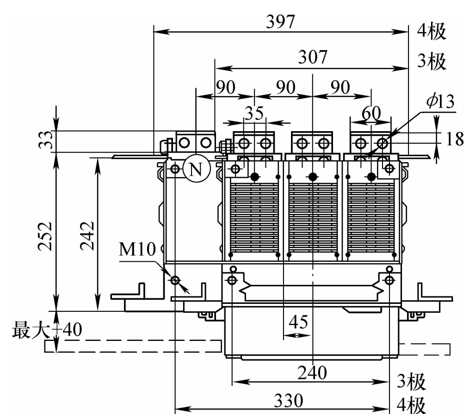


图 3-10　E1、E2 型断路外形及安装尺寸

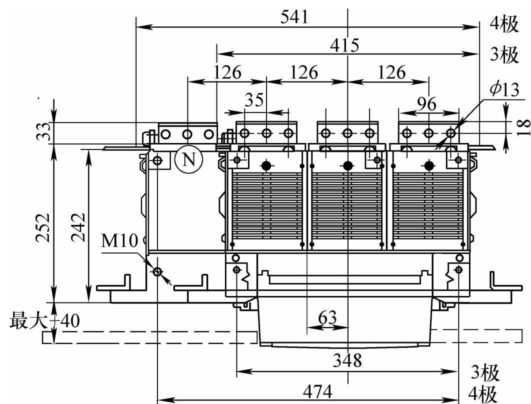


图 3-11　E3 型断路器外形及安装尺寸

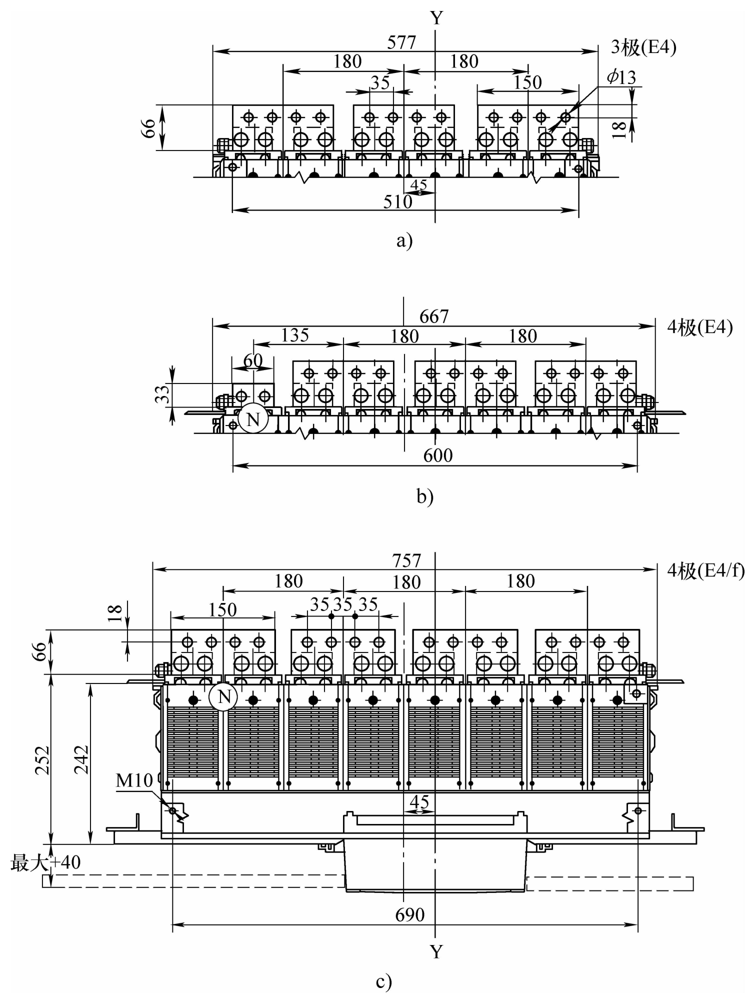


图 3-12　E4 型断路器外形及安装尺寸

a）E4 型三级　b）E4 型 4 极　c）E4/f 型 4 极

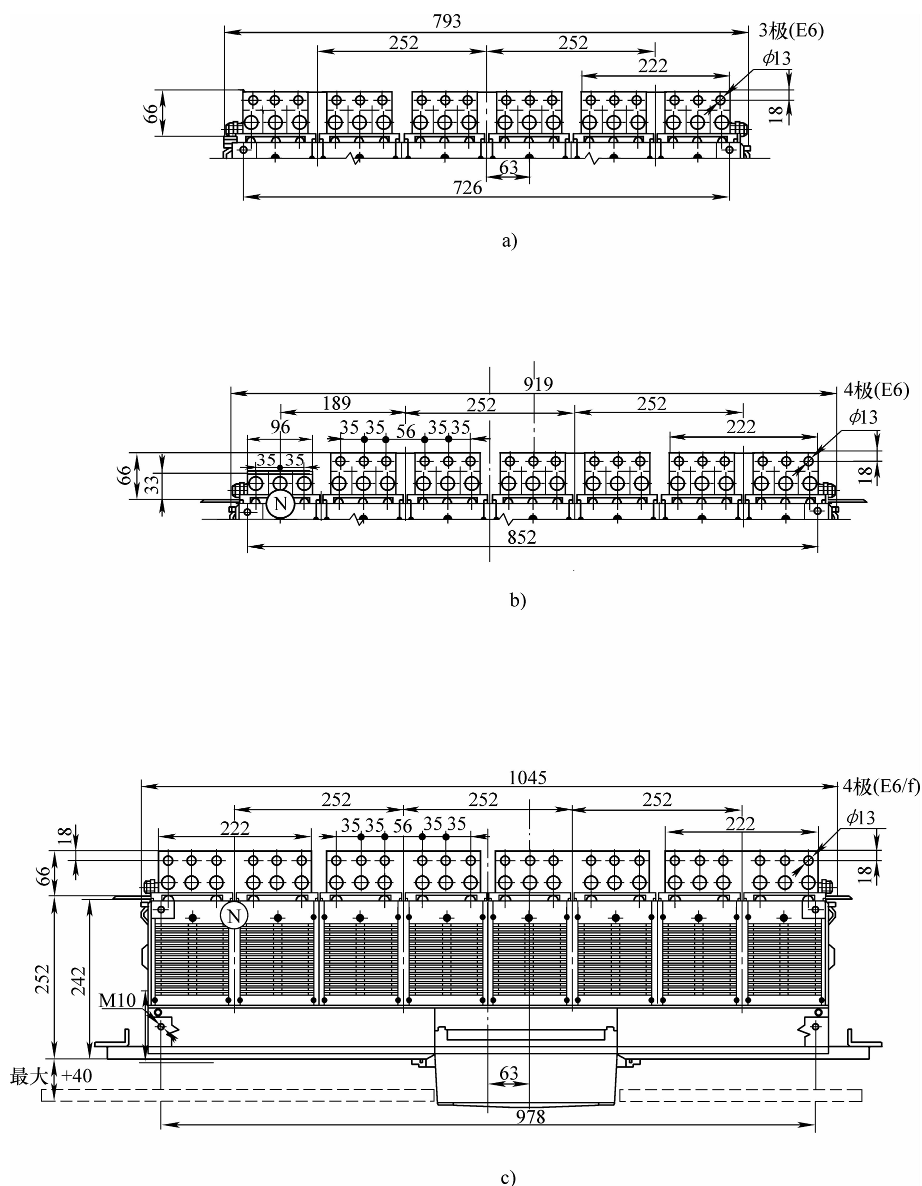


图 3-13 E6 型断路器外形及安装尺寸

a）E6 型 3 极 b）E6 型 4 极 c）E6/f 型 4 极

3. 断路器电子脱扣器安装

Emax 系列断路器与配置的 PR121/P、PR122/P、PR123/P 电子脱扣器，运行状态时，3 极断路器与电子脱扣器安装接线原理如图 3-14 所示，4 极断路器与电子联扣器安装接线原理如图 3-15 所示。

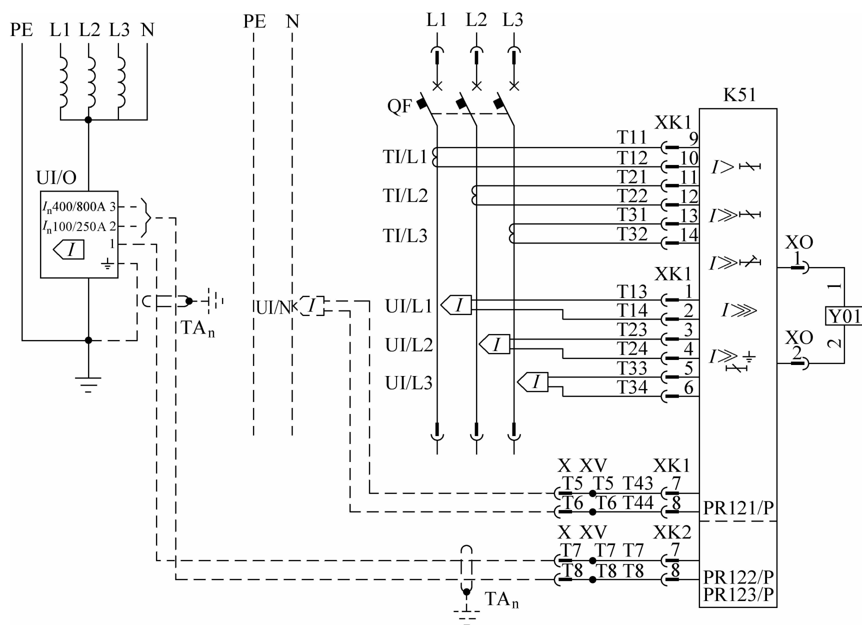


图 3-14　3 极断路器与电子脱扣器安装接线原理

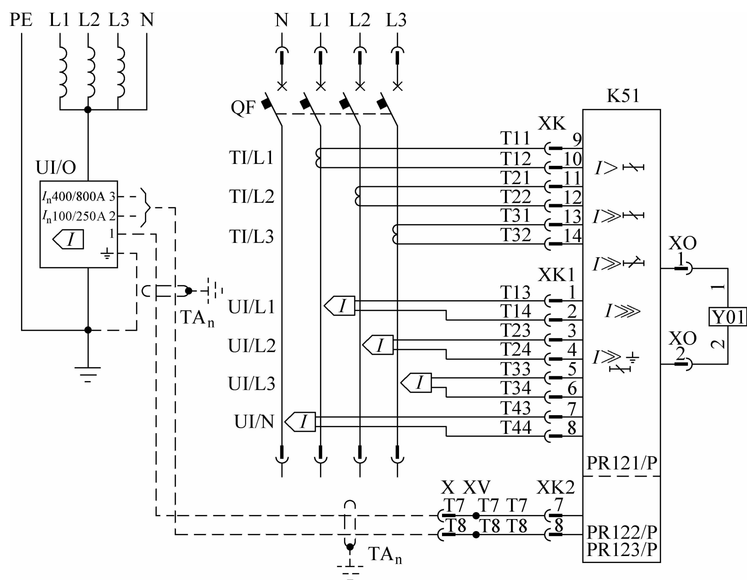


图 3-15　4 极断路器与电子脱扣器安装接线原理

Emax 系列断路器配置 PR121/P、PR122/P、PR123/P 电子脱扣器时，电动操作机构、分闸、合闸和欠电压脱扣器接线原理如图 3-16 所示。

Emax 系列断路器信号触头如图 3-17 所示。

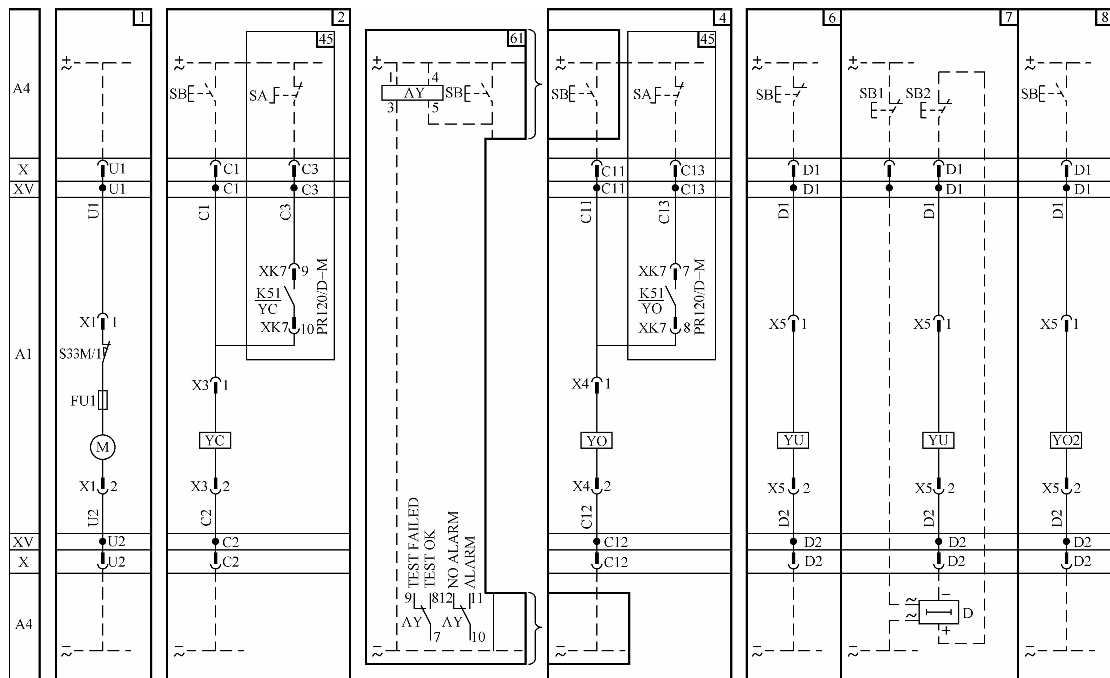


图 3-16 Emax 系列断路器电动操作机构、分闸、合闸和欠电压脱扣器接线原理

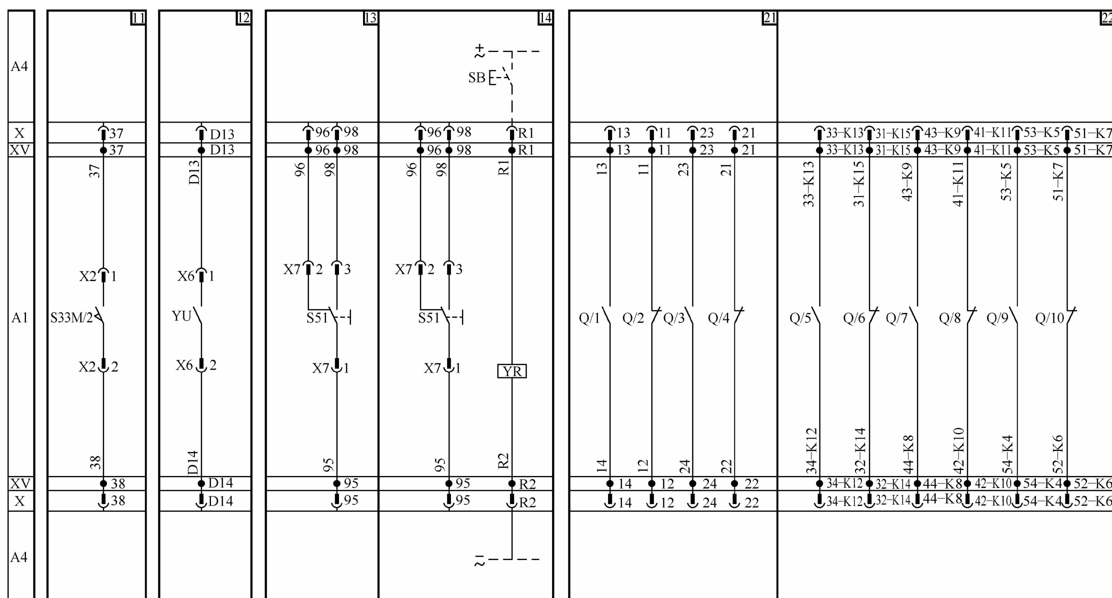


图 3-17 Emax 系列断路器信号触头

四、Emax 系列断路器电子脱扣器的使用

1. 主要特征

1）Emax 系列的断路器配置 PR121/P、PR122/P 及 RP123/P 三种电子脱扣器，适用于交流系统。

2）基本型 PR121/P 提供整套的标准保护功能和一个完善友好的户界面。

3）依靠 LED 显示器，它能区别故障脱扣的种类。

4）PR122/P 和 PR123/P 采用了新的模块化结构概念，根据设计和用户的要求，可实现一套集完整的保护、准确的测量、信号指示或者对话功能为一体的断路器。

5）保护系统由以下几个部分组成：

①3 个或 4 个新型的电流传感器（Rogowsky 线圈）；

②外部电流传感器（例如外部中性线导体、剩余电流或 SGR 保护）；

③选择一个保护单元 PR121/P、PR122/P 或 PR123/P，以及可选的具有 Modbus 通信协议的通信模块，或选择 Fieldbus 网络（仅适用于 PR122/P 和 PR123/P），还有无线连接的通信协议；

④一个直接作用在断路器操作机构上的分闸线圈。

2. PR121/P 型保护脱扣器

（1）主要特点

PR121/P 是 Emax 系列的基本而完善型的脱扣器，具有完整的保护功能，宽广的门限值电流范围及脱扣时间的设定，适合各类交流电气装置的保护。此外，保护装置单元还提供了多功能 LED 指示。而且，PR121/P 能够连接外部的装置，如远程信号和监控或遥控管理显示。

PR121/P 型保护脱扣器的面板结构功能如图 3-18 所示。

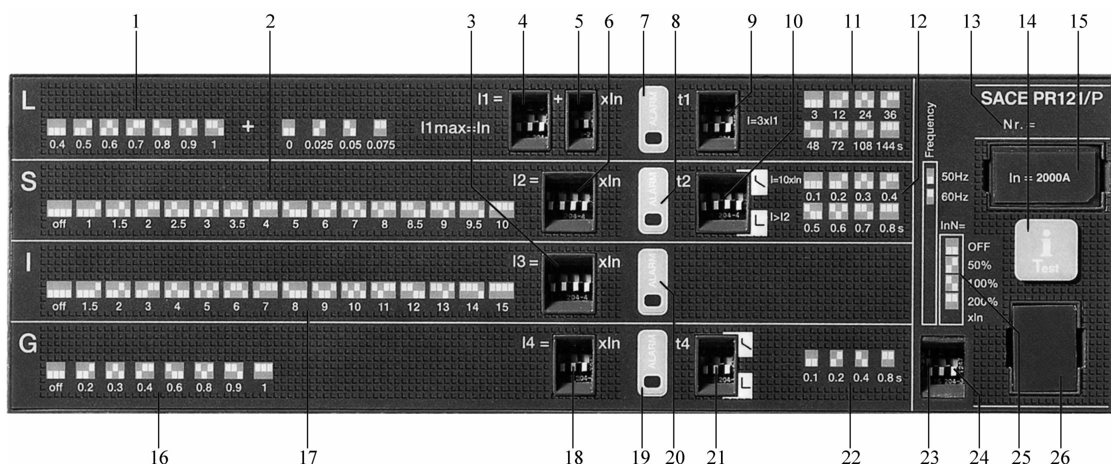


图 3-18　PR121/P 型保护脱扣器面板结构功能

1—各种门限值电流 I_1 的 DIP 开关位置显示　2—各种门限值电流 I_2 的 DIP 开关位置显示　3—DIP 开关-门限值电流 I_3 的设定　4—DIP 开关-门限值电流 I_1 的粗值设定　5—DIP 开关-门限值电流 I_1 的精细设定　6—DIP 开关-门限值电流 I_2 的设定　7—L 保护功能 LED 警报指示　8—S 保护功能 LED 警报指示　9—DIP 开关-脱扣时间 t_1 的设定（曲线的种类）　10—DIP 开关-脱扣时间 t_2 的设定（曲线的种类）　11—各种设置时间 t_1 的 DIP 开关位置显示　12—各种设置时间 t_2 的 DIP 开关位置显示　13—保护脱扣器的系列编码　14—脱扣原因指示和脱扣测试　15—额定电流插件　16—各种门限值电流 I_4 的 DIP 开关位置显示　17—各种门限值电流 I_3 的 DIP 开关位置显示　18—DIP 开关-门限值电流 I_4 的设定　19—G 保护功能 LED 警报指示　20—I 保护功能 LED 警报指示　21—DIP 开关-脱扣时间 t_4 的设定（曲线的种类）　22—各种设置时间 t_4 的 DIP 开关位置显示　23—电网频率的 DIP 开关位置显示　24—DIP 开关-电网频率和中性线保护设置　25—中性线保护的 DIP 开关位置显示　26—通过外部装置（PR030/B 供电单元、BT030 无线通信单元和 PR010/T 单元）连接或测试脱扣器的测试连接器

（2）主要功能

1）保护功能。PR121/P 提供下列保护：过载保护（L）、选择性短路保护（S）、瞬时短路保护（1）和接地故障保护（G）。

①过载保护（L）。反时限长延时的过载保护（L）的特性为 $I^2t=k$；25 个电流设定及 8 条曲线可供选择，每条曲线均已标明电流为 3 倍门限值电流时（$I=3I_1$）的脱扣时间（I_1 为设定门限）。

②选择性短路保护（S）。选择性短路保护 S 可设定两种不同的曲线，其中一条脱扣时间与电流无关（定时限）（即 $t=k$），另一条为将允通能量定为常数的反时限（即 $t=k/I^2$）曲线。

15 个电流设定值及 8 条曲线可供选择，可进行精确设定，但每条曲线都是基于下列条件定义的：

对（$t=k$）曲线，当 $I>I_2$ 时的脱扣时间。

对（$t=k/I^2$）曲线，当 $I=10I_n$（I_n 为断路器的额定电流）时的脱扣时间。

短延时短路的保护功能（S），可将 DIP 开关置于“OFF”即可使其功能关闭。

③瞬时短路保护（I）。保护功能（I）提供 15 个门限值电流，同时亦可设定将本功能关闭（将 DIP 开关置于“OFF”位置）。

④接地故障保护（G）。接地故障保护（G）（亦可使其失效），提供 7 个可供设定的电流门限值及 4 条曲线。通过设置 t_4 及 I_4 来对曲线进行整定。与 S 保护功能相同，脱扣时间可被选择定时限（亦即 $t=k$），或允通能量定为常数（亦即 $t=k/I^2$）的反时限曲线。

2）用户界面。在脱扣参数准备阶段，用户可通过 DIP 开关直接与脱扣器进行沟通。多达 4 个 LED 可用于信号显示（根据不同类型）。这些 LED 在以下情况下被激活（每个保护各有一个）：

①保护正在计时，对于 L 保护，亦将显示预报警状态；

②某种脱扣保护（按 Info/Test，相应的 LED 被激活）；

③连接电流传感器失败或分闸线圈分闸失败。在脱扣器单元供电的情况下，也可激活指示灯（通过电流传感器或一个辅助电源供电）。

④断路器插入了错误的额定电流插件。

即使断路器在分闸状态，也无需任何内在/外在的辅助供电电源，保护脱扣显示仍然能正常工作。在静态情况下，脱扣信息在 48h 内仍然有效，即使重合闸后也有效。如果要求在 48h 之后仍可有效，则可连接一个 PR030/B 供电单元、PR010/T 或一个 BT030 无线通信单元来实现。

3）通信。通过 BT030 无线通信单元，PR121/P 能连接到一个掌上电脑或一台个人电脑上。这将扩展用户的可用信息范围。特别是通过 ABB SD-Pocket 通信软件，用户可读取流经断路器的电流值，最后 20 次的中断电流值和保护设定值。

PR121/P 能连接可选性外部 PR021/k 信号单元，这个信号单元用于报警和脱扣保护远程信号显示，也可连接 HMI030，实现远程人机操作。

4）中性线的设定。中性线的保护，设定为相电流的 50%、100% 或 200%，E1、E2、E3、E4 和 E6/f 可选择超过 50% 的设定。特别是为了实现中性线的 200% 设定，考虑到断路器的载流能力，L 保护设置必须设定为 $0.5I_n$，当然，用户也可以关闭中性线的保护。当使

用三相断路器带有外部中性线电流传感器时，超过 100% 的中性线设定不需要减少任何 L 设定值。

5）测试功能。测试功能可通过 Info/Test 按钮和装有一个底部带有接插线的 PR030/B 供电单元（或 BT030）来完成，接插线装置连接到 PR121/P 脱扣器前面盘的测试连接位置上。将 PR010/T 配置及测试单元连接到测试连接器上后，可实现对 PR121/P 电子脱扣器进行测试。所有的脱扣功能可通过 TS120 测试工具得到彻底的检测，TS120 可注入模拟电流值到脱扣器中来验证其准确特性。使用这个单元，脱扣器必须从断路器中断开。

（3）保护功能及参数设定

PR121/P 型保护功能及参数设定见表 3-10。

表 3-10　PR121/P 型保护功能及参数设定

功能	脱扣门限值	脱扣时间	可否被关闭	相关值 $t=f(I)$
L 过载保护	I_1 =（0.4，0.425，0.45，0.475，0.5，0.525，0.55，0.575，0.6，0.625，0.65，0.675，0.7，0.725，0.75，0.775，0.8，0.825，0.85，0.875，0.9，0.925，0.95，0.975，1）I_n	电流 $I=3I_1$ $t_1=(3,12,24,36,48,72,108,144)$ s①	—	$t=k/I^2$
容许偏差②	在 $1.05I_1$ 和 $1.2I_1$ 之间脱扣	±10% $I_g \leq 4I_n$ ±20% $I_g > 4I_n$		
S 选择性短路保护	$I_2=(1,1.5,2,2.5,3,3.5,4,5,6,7,8,8.5,9,9.5,10)I_n$	电流 $I>I_2$ $t_2=(0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8)$ s	✓	$t=k$
容许偏差②	±7%，$I_g \leq 4I_n$ ±10%，$I_g > 4I_n$	两个数据中较好者： ±10% 或 ±40ms		
	$I_2=(1,1.5,2,2.5,3,3.5,4,5,6,7,8,8.5,9,9.5,10)I_n$	电流 $I=10I_n$ $t_2=(0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8)$ s	✓	$t=k/I^2$
容许偏差②	±7%，$I_g \leq 4I_n$ ±10%，$I_g > 4I_n$	±15%，$I_g \leq 4I_n$ ±20%，$I_g > 4I_n$		
I 短路瞬时保护	$I_3=(1.5,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15)I_n$	瞬时	✓	$t=k$
容许偏差②	±10%	≤30ms		
G 接地故障保护	$I_4=(0.2,0.3,0.4,0.6,0.8,0.9,1)I_n$	电流 $I=4I_4$ $t_4=(0.1,0.2,0.4,0.8)$ s	✓	$t=k/I^2$
容许偏差②	±7%	±15%		

（续）

功能	脱扣门限值	脱扣时间	可否被关闭	相关值 $t=f(I)$
	$I_4=(0.2,0.3,0.4,0.6,0.8,0.9,1)I_n$	电流 $I>I_4$ $t_4=(0.1,0.2,0.4,0.8)$s	✓	$t=k$
容许偏差②	±7%	两个数据中较好者：±10% 或 ±40ms		

① 最小脱扣时间是1s，不管设定曲线类型。

② 以上误差适用于以下使用条件：在满负荷下的自供电情况（不包括起始阶段）；两相或三相电源供电情况；设定脱扣时间≥100ms。

3. PR122/P型保护脱扣器

（1）主要特点

1）PR122/P是一种基于微处理器设计和DSP技术的一种成熟而灵活的保护系统。并装有可选性内部PR120/D-M对话单元，可实现基于Modbus® 协议的智能保护、测量和通信。通过PR120/D-M、PR122/P也可被连接到ABB EP010适配器上，可实现与不同网络之间的连接。

2）由于具有宽广的设定范围，因此可使用在任何电气装置的保护上，从配电到电动机保护、变压器保护、驱动器保护和发电机保护。使用键盘及液晶显示器来读取资料和编程不仅操作简单，而且相当直观。为了最方便用户使用，这个界面对PR122/P和PR123/P均通用。

3）除保护功能外，还具有电流表及其他功能。如外加对话、信号、测量和无线通信单元，便可增加这些附加功能。

4）根据要求，S和G功能可设定为定时限（$t=k$）或反时限（允通能量曲线：$I^2t=k$）。接地故障保护可通过连接PR122/P到一个外部传感器来完成，这个外部传感器安装在变压器星形点与地之间的导体上。所有保护功能的门限值和脱扣曲线均被存储在一个特殊记忆体内，即使电源消失亦可保存。

（2）主要功能

1）基本的保护功能。PR122/P脱扣器提供以下保护功能（根据脱扣器的类型）：过载保护（L）；选择性短路保护（S）；瞬时短路保护（I）；接地故障保护（G）；相不平衡保护（U）；超温自我保护（OT）；L和S的热记功能；S和G的区域选择功能；配外部传感器时的剩余电流保护（Rc）；有外部传感器的SGR保护。

2）中性线的设定。在PR122/P和PR123/P中，标准类型的中性线保护电流设定为相保护的50%，但对于E1、E2、E3、E4/f和E6/f也可设置为100%。当安装位置有高次谐波发生时，中性线的电流将高于三相的电流。因此，有必要设置中性线保护为三相保护设定值的150%或200%。在这种情况下，也必须相应的减小L保护设定值。

在断路器类型和门限 I_1 设定值之间，中性线设定值存在各种各样可能的组合。

3）起动功能。在起动阶段，起动功能允许S、I和G功能在更高的脱扣门限下运行。这将避免由某种负载（电机、变压器、电灯）的高冲击电流导致的脱扣。

起动阶段以0.05的间隔从100ms持续到1.5s。PR122/P脱扣器自动识别如下：当自供电脱扣器的断路器合闸时；如果脱扣器由外部电流供电，当最大峰值电流超过 $0.1I_n$ 时。电

流降到门限值的 0.1I_n 以下后，将可能产生一个新的起动阶段。

4）相不平衡保护（U）。相不平衡功能 U 是当脱扣器检测到有两相或更多相电流不平衡时，就发出一个报警信号，这个功能也可被关闭。

5）超温保护。PR122/P 脱扣器在不正常高温下运行时，可出现暂时性或持续性的误动作情况，为提醒用户，脱扣器上有以下两种信号指示或动作：

①当温度高于 70℃时，“警告”LED 灯亮（微处理器仍然能够正常工作）。

②当温度高于 85℃时，“紧急”LED 灯亮（这时脱扣器不能保证正常工作）。同时断路器脱扣并在显示器上显示，此功能同其他保护功能一样，需要在脱扣器设置阶段进行设置。

6）S 或 G 保护功能的区域选择。区域选择性是最先进的协调保护的方法之一：有效地利用这种保护，与预置的时间选择性比较，它能使离故障点最近的断路器保护动作时间缩短，可见区域选择性保护是一种进步。区域选择性可适用于保护功能 S 和 G，是 PR122/P 上的标准功能。区域是指两个串联断路器之间的电气部分。区域选择性保护是将选择性区域内所有脱扣器输出端与供电侧脱扣器输入端相连接，区域内脱扣器的输出信号立即上传到供电侧脱扣器的输入端。

检查到故障的每一个断路器均可通过一个简单的连接线将信号传递到供电侧断路器，故障区域就是指检查到故障，但又不会从其负载侧断路器中得到任何信号的断路器负载侧区域。此时，此断路器将立即分闸，不需延时时间。

ABB 公司提供了一些有用的计算工具来简化设计者在协调保护装置方面的工作。例如，滑动尺工具、DOCWin 和 CAT 软件包和更新的协调表。

S 或 G 功能的区域选择性功能可通过键盘激活或关闭。

7）自身诊断。PR122/P 脱扣器拥有自身诊断的电子线路，周期性地对内部连接的可靠性进行检测（分闸线圈或每个电流传感器，包括 SGR）。当功能失效的时候，一个报警信号将直接出现在显示器上，同时也通过 LED 警报显示。

8）剩余电流。一体化的剩余电流保护有不同的解决方法。基本的选择是使用带有一个附加 PR120/V 模块的 PR122-LSIG 来实现。使用这个配置后，剩余电流保护功能就附加在这种功能强大的单元上，它将具有 PR122-LSI 的功能和所有 PR120/V 模块所描述的附加功能，例如电压保护功能和先进测量功能。剩余电流保护是依靠来自外部专用电流测量线圈来完成的。

9）测试功能。当在“Control”菜单中选中“TEST”功能时，测试过程便开始，包括微处理、分闸线圈及断路器脱扣机构的系列测试活动。在“Control”菜单内，可以选择测试显示器、LED 信号、电磁信号和 PR120/K 电气触头的运行是否正确。利用脱扣器前端的多针连接器，可使用 PR010/T 测试单元对 PR121/P、PR122/P 及 PR123/P 进行测试和检查。所有的脱扣功能可通过 PR120/T 测试工具得到彻底的控制，PR120/T 可注入模拟电流值到脱扣器中来验证其准确性。使用这个单元，脱扣器必须从断路器中断开。

10）用户界面。人机界面（HMI）是通过图形显示、LED 及浏览按钮来完成的。这个界面被设计成能提供最大限度的简单化。有多种语言可供选择。像上一代的脱扣器产品一样，“阅读”或“编辑”模式是通过密码来进行管理的。默认密码是 0001，当然，用户可自己更改密码。保护参数的设置（曲线和脱扣门限值）可通过人机界面直接完成操作。保护参数的改变只能在“编辑”状态实现，但脱扣器中的信息和设定参数都可在“阅读”状

态进行检查。当连接了通信装置（内部 PR120/D-M 和 PR120/D-BT 模块或外部 BT030 装置）时，只需要简单地将参数下载到脱扣单元上（通过 PR120/D-M 网路，依靠使用 SD-Pocket 软件和通过为 PR120/D-BT 和 BT030 配备的掌上电脑或笔记本电脑）。参数设定可正确无误地直接从 DocWin 传递到脱扣器上。

11）LED 指示。脱扣器前面盘的 LED 分别担任“预报警”及“报警”的指示，显示器上指示的信息可明确指出发生了何种事件。

预警报（“WARNING” LED）指示的事件：相不平衡；过载预报警（$L1 > 90\%$）；超过第一段温度设定（70℃）；主触头磨损超过 80%；相序逆反（配有 PR120/V）。

报警指示的事件：过载（按照 IEC 60947-2 标准，$1.05I_1 < I < 1.3I_1$）；保护功能（L）已处于计时状态；保护功能（S）已处于计时状态；保护功能（G）已处于计时状态；超过第二段温度设定（85℃）；触头磨损 100%；逆功率保护已处于计时状态（配有 PR120/V）。

12）数据日志功能。PR122/P 和 PR123/P 已标配提供数据日志功能，它们可自动地存储大量的记录。此缓冲存储器可记录所有的电流和电压的瞬时值。通过使用一个蓝牙技术的 SD-Pocket 或 TestBus2，数据能很容易地从脱扣器单元中下载，同时，它也能传到任何个人电脑上，便于详细分析。

不管脱扣什么时候发生，都能被记录下来，因此能够很容易并详细地分析故障情况。SD-Pocket 和 TestBus2 也能阅读和下载所有其他脱扣信息。

①信道数：8；

②最大采样频率：4800Hz；

③最大采样时间：27s（在采样频率为 600Hz 时）；

④可追踪 64 个事件。

13）脱扣信息和分闸数据。当脱扣发生的时候，PR122/P 和 PR123/P 存储所有需要信息：脱扣保护；分闸数据（电流）；时间标志（确保在 48h 内辅助供电或持续自供电）。按“Info/Test”按钮，脱扣器可直接在显示器上显示所有的数据。不需要辅助供电电源，在断路器分闸或没有电流流通的情况下，用户也可 48h 获取信息。可存储最近 20 次脱扣的信息。如果要求信号在 48h 后仍然保留，就必须连接一个 PR030/B 供电单元或一个 BT030 无线通信单元。

14）负载控制。在过载保护（L）脱扣之前，负载控制功能能够控制负载侧单个负载的接通与分离，因而避免了供电侧断路器不必要的脱扣。PR122/P 通过对 PR120/K 或 PR021/K 内部触头的控制，从而进一步对接触器或隔离开关进行控制（通过外部连线与脱扣器相连）。可执行以下两种不同的负载控制功能：两个独立负载的隔离，设置两个不同的电流门限；一个负荷的连接及隔离，通过设置滞后曲线完成。门限值电流和脱扣时间比保护功能（L）的值低，这样可预防过载脱扣。负载控制要求内部 PR120/K 或外部 PR021/K 附件单元。这个功能只有在辅助供电电源存在时才能被激活，辅助供电电源可选 CP-24/1.0。

第五节 Tmax 系列塑料外壳式断路器

一、概述

Tmax 系列塑料外壳式断路器是 ABB 公司的产品。符合 IEC 60947-2 标准，主要分为

T1、T2、T3、T4、T5 五个基本型。

Tmax 系列可用在交流系统中，电流从 1A 到 630A，电压可达 690V，分断能力从 16kA 至 200kA。带 TMD 和 TMA 的 T1、T2、T3、T4 和 T5 断路器也可用在直流系统中，电流从 1A 到 630A 和具有最小的 24V 工作电压。当 2 极串联时，T1、T2 和 T3 可在额定电压 250V 系统中使用，T4 和 T5 可在 500V 系统中应用，分断能力可达 100kA。而且，如果 3 极串联，T1、T2 和 T3 可应用在额定电压 500V；T4 和 T5 可应用在 750V 的直流系统中，分断能力：T1、T2 和 T3 可达 85kA，T4 和 T5 可达 70kA。

Tmax 系列塑料外壳式断路器保护功能：

1）带不可调（$I_3=10\times I_n$）TMF 热磁脱扣器的 T1B 1p。

2）带可调热门限（$I_1=0.7\cdots1\times I_n$）和不可调磁门限（$I_3=10\times I_n$）的 TMD 热磁脱扣器的 T1、T2、T3 和 T4 断路器。

3）带发电机保护型可调热门限（$I_1=0.7\cdots1\times I_n$）和不可调磁门限的（$I_3=3\times I_n$）于 T3 以及可调磁门限（$I_3=2.5\cdots5\times I_n$）的 TMG 脱扣器于 T5。

4）带可调热门限（$I_1=0.7\cdots1\times I_n$）和可调磁门限（$I_3=5\cdots10\times I_n$）的 TMA 热磁脱扣器于 T4 和 T5。

5）带 PR221DS 电子脱扣器的 T2 断路器。

6）带 PR221DS、PR222DS/P 和 PR222DS/PD 电子脱扣器的 T4 和 T5 断路器。

二、技术参数

Tmax 塑料外壳式断路器技术参数见表 3-11。

三、PR222DS/PD 电子脱扣器

1. 外形结构

PR222DS/PD 电子脱扣器外形结构如图 3-19 所示。

2. 主要特点

PR222DS/PD 电子脱扣器的主要特点如下：

1）除了 L 保护功能、短路短延时 S 和瞬时短路保护 I（PR222DS/PD-LSI）外，还有接地故障保护 G（PR222DS/PD-LSIG），PR222DS/PD 可配置在 T4 和 T5 中，同时，还集成 Modbus RTU 协议的对话单元。

2）PR222/PD 能够将 T4 和 T5 集成在基于 Modbus RTU 协议的通信网络中。Modbus RTU 提供了一个主-从结构系统，主系统（PLC 和 PC 等）与多个从系统（装置）之间进行循环通信。这个装置使用 EIA RS485 作为数据传输的方式，最大传输速度可达 19200bit/s。

3）正常操作所需要的供电电源可直接由电流互感器提供，这可保证脱扣器即使在单相负载条件和最小的设定值下也可实现正常工作。但是通信需要 24V DC 的辅助供电电源才能实现。

4）集成通信和控制功能的 PR222DS/PD 脱扣器，可远程传输和获得大量的信息，通过安装在断路器上的分闸、合闸装置来完成分闸和合闸命令，保存配置参数以及保护功能保护曲线。所有的信息既可在本机获得，也就是直接在断路器的前面板上获得或者 FDU 显示，还可通过管理和控制系统远程获得。PR222DS/PD 可通过与 AUX-E 辅助触头一起使用来判断断路器的状态（分/合），也可通过 MOE-E（当 MOE-E 使用时，AUX-E 必须使用）电动操作机构和 AUX-E 辅助触头来远程控制断路器分闸和合闸。

表 3-11　Tmax 塑料外壳式断路器技术参数

参数名称		技术参数																		
额定电流/A		Tmax T1			Tmax T2				Tmax T3		Tmax T4					Tmax T5				
		160			160				250		250/320					400/630				
极数		3/4			3/4				3/4		3/4					3/4				
额定电压/V	(AC)50～60Hz	690			690				690		690					690				
	(DC)	500			500				500		750					750				
额定冲击耐受电压/kV		8			8				8		8					8				
额定绝缘电压/V		800			800				800		1000					1000				
工频测试电压 1min/V		3000			3000				3000		3500					3500				
额定极限短路分断能力/kA		B	C	N	N	S	H	L	N	S	N	S	H	L	V	N	S	H	L	V
	220/230V	25	40	50	65	85	100	120	50	85	70	85	100	200	200	70	85	100	200	200
	380/415V	16	25	36	36	50	70	85	36	50	36	50	70	120	200	36	50	70	120	200
	440V	10	15	22	30	45	55	75	25	40	30	40	65	100	180	30	40	65	100	180
	500V	8	10	15	25	30	36	50	20	30	25	30	50	85	150	25	30	50	85	150
	690V	3	4	6	6	7	8	10	5	8	20	25	40	70	80	20	25	40	70	80
额定短路合闸能力 I_{cm}/kA	220/230V	52.5	84	105	143	187	220	264	105	187	154	187	220	440	660	154	187	220	440	660
	380/415V	32	52.5	75.6	75.6	105	154	187	75.6	105	75.6	105	154	264	440	75.6	105	154	264	440
	440V	17	30	46.2	63	94.5	121	165	52.5	84	63	84	143	220	396	63	84	143	220	396
	500V	13.6	17	30	52.5	68	75.6	105	40	63	52.5	63	105	187	330	52.5	63	105	187	330
	690V	4.3	5.9	9.2	9.2	11.9	13.6	17	7.7	13.6	40	52.5	84	154	176	40	52.5	84	154	176
分闸时间(415V)/ms		7	6	5	3	3	3	3	7	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6
脱扣器　热磁式																				
T 不可调，M 不可调	TMF	—			—				—		—					—				
T 可调，M 不可调	TMD	✓			✓				✓		✓(高达 50A)					—				
T 可调，M 可调(5…10×I_n)	TMA	—			—				—		✓					✓				
T 可调，M 不可调(3×I_n)	TMG	—			—				✓		—					—				
T 可调，M 可调(2.5…5×I_n)	TMG	—			—				—		—					✓				
单磁式	MA	—			✓(MF 高达 I_n12.5A)				✓		✓					—				
电子式	PR221DS-LS1	—			✓				—		✓					✓				
	PR221DS-1	—			✓				—		✓					✓				
	PR222DS/P-LS1	—			—				—		✓					✓				
	PR222DS/P-LSIG	—			—				—		✓					✓				
	PR222DS/PD-LSI	—			—				—		✓					✓				
	PR222DS/PD-LSIG	—			—				—		✓					✓				
	PR222MP	—			—				—		✓					✓				

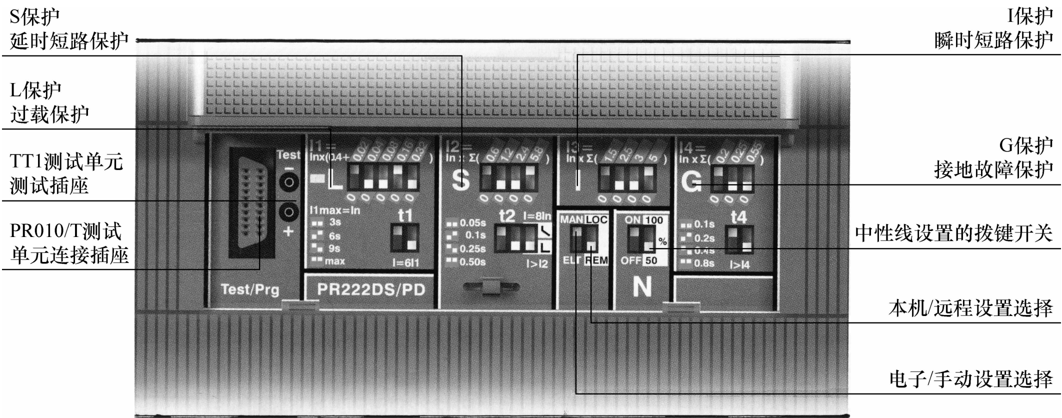


图 3-19 PR222DS/PD 电子脱扣器外形结构

5）若装有 PR222DS/PD 脱扣器的断路器在管理系统中使用时，在 PR010/T 测试阶段，通信将自动停止，当测试完成时又会重新开始工作。

6）也可实现本机通信显示，但断路器中必须至少有一相电流达 $0.35\times I_n$。

3. 主要功能

PR222DS/PD 电子脱扣器主要功能见表 3-12。

表 3-12 PR222DS/PD 电子脱扣器主要功能

名 称	功能
通信功能	PR222DS/PD
协议	Modbus RTU 标准
物理层	EIA RS485
速度（最大）	19200bit/s
测量功能	
相电流	✓
中性线	✓
接地	✓
信号功能	
L 功能预报警和报警指示	✓
L 功能报警输出触头	✓
数据	
断路器状态	✓

名 称	功能
模式（本机，远程）	✓
保护参数设定值	✓
报警	
保护：L、S、I、G	✓
脱扣器故障功能失效	✓
维护	
总操作次数	✓
总脱扣次数	✓
脱扣测试次数	✓
手动操作次数	✓
每个保护功能脱扣次数	✓
最后脱扣数据记录	✓

（续）

名　称	功能	名　称	功能
指令		安全功能	
断路器分/合闸（有电动操作机构）	✓	故障脱扣失效的断路器分闸（有电动操作机构）	✓
报警复位	✓	事件	
断路器复位（有电动机操作机构）	✓	在所有保护和报警中断路器状态变化	✓
保护曲线和门限值设定	✓		

4. 保护功能和技术参数

PR222DS/PD 电子脱扣器保护功能和技术参数见表 3-13。

表 3-13　PR222DS/PD 电子脱扣器保护功能和技术参数

保护功能	脱　扣　门　限		脱　扣　曲　线①
L 不可关闭 过载保护，反时限长延时脱扣和脱扣特性（I^2t = 常数开）	手动设置 I_1 = 0.40 − 0.42 − 0.44 − 0.46 − 0.48 − 0.50 − 0.52 − 0.54 − 0.56 − 0.58 − 0.60 − 0.62 − 0.64 − 0.66 − 0.68 − 0.70 − 0.72 − 0.74 − 0.76 − 0.78 − 0.80 − 0.82 − 0.84 − 0.86 − 0.88 − 0.90 − 0.92 − 0.94 − 0.96 − 0.98 − 1 × I_n		手动设置 在 6 × I_1　在 6 × I_1　在 6 × I_1　在 6 × I_1 t_1 = 3s　t_1 = 6s　t_1 = 9s　t_1 = 18s②
	电子设置 I_1 = 0.40…1 × I_n（步距 0.01 × I_n） 脱扣在 1.1 ~ 1.3 × I_n 之间 （IEC 60947-2）		电子设置 在 6 × I_1　t_1 = 3 ~ 18s（步距 0.5s）② 允许偏差：±10%
S 可关闭 延时短路保护，反时限短延时或定时限短路保护和脱扣特性	（I^2t = 常数开）	手动设置 I_2 = 0.6 − 1.2 − 1.8 − 2.4 − 3.0 − 3.6 − 4.2 − 5.8 − 6.4 − 7.0 − 7.6 − 8.2 − 8.8 − 9.4 − 10 × I_n	手动设置 在 8 × I_n　在 8 × I_n　在 8 × I_n　在 8 × I_n t_2 = 0.05s　t_2 = 0.1s　t_2 = 0.25s　t_2 = 0.5s
		电子设置 I_2 = 0.60 ~ 10 × I_n（步距 0.1 × I_n） 允许偏差：±10%	电子设置 在 8 × I_n　t_2 = 0.05 ~ 0.5s（步距 0.01s） 允许偏差：±10%④
	（I^2t = 常数关）	手动设置 I_2 = 0.6 − 1.2 − 1.8 − 2.4 − 3.0 − 3.6 − 4.2 − 5.8 − 6.4 − 7.0 − 7.6 − 8.2 − 8.8 − 9.4 − 10 × I_n	手动设置 t_2 = 0.05s　t_2 = 0.1s　t_2 = 0.25s　t_2 = 0.5s
		电子设置 I_2 = 0.60 ~ 10 × I_n（步距 0.1 × I_n） 允许偏差：±10%	电子设置 t_2 = 0.05 ~ 0.5s（步距 0.01s） 允许偏差：±10%④

（续）

保护功能	脱　扣　门　限	脱　扣　曲　线[1]
I 可关闭 瞬时短路保护	手动设置 I_3 = 1.5 – 2.5 – 3 – 4 – 4.5 – 5 – 5.5 – 6.5 – 7 – 7.5 – 8 – 9 – 9.5 – 10.5 – 12 × I_n[3]	瞬时≤25ms
	电子设置 I_3 = 1.5…12 × I_n（步距 0.1 × I_n）[3] 允许偏差：±10%	
G 可关闭 接地故障保护，反时限短延时和脱扣特性（I^2t = 常数）	手动设置 I_4 = 0.2 – 0.25 – 0.45 – 0.55 – 0.75 – 0.8 – 1 × I_n	手动设置 达到 3.15 × I_4 t_4 = 0.1s；达到 2.25 × I_4 t_4 = 0.2s；达到 1.6 × I_4 t_4 = 0.4s；达到 1.10 × I_4 t_4 = 0.8s
	电子设置 I_4 = 0.2 ~ 1 × I_n（步距 0.01 × I_n） 允许偏差：±10%	电子设置 t_4 = 0.1 ~ 0.8 × I_n（步距 0.01s） 允许偏差：±20%

① 这些允许偏差适合以下条件：
—自供电继电器处于全电流供电或有辅助电源；
—2 或 3 相电源供电；
—正弦波峰值因数 1.41；
—峰值因数（峰值/有效值）= $\sqrt{2}$（L；3I_n；S、I、G）。

② 对于 T4I_n = 320A 和 T5I_n = 630A⇒t_1 = 12s。

③ 对于 T4I_n = 320A 和 T5I_n = 630A⇒I_3max = 10 × I_n。

④ 对 t_2 = 0.1s 以下为正负 10ms。

四、电气控制接线

Tmax 系列塑料外壳式断路器 T1、T2、T3、T4、T5 电气接线如图 3-20 ~ 图 3-23 所示。

五、外形结构及安装尺寸

Tmax T4 型固定式断路器外形结构及安装尺寸如图 3-24 所示。

Tmax T5 型固定式断路器外形结构及安装尺寸如图 3-25 所示。

Tmax T4 ~ T5 型抽出式断路器外形结构及安装尺寸如图 3-26 所示，断路器配旋转手柄操动机构。

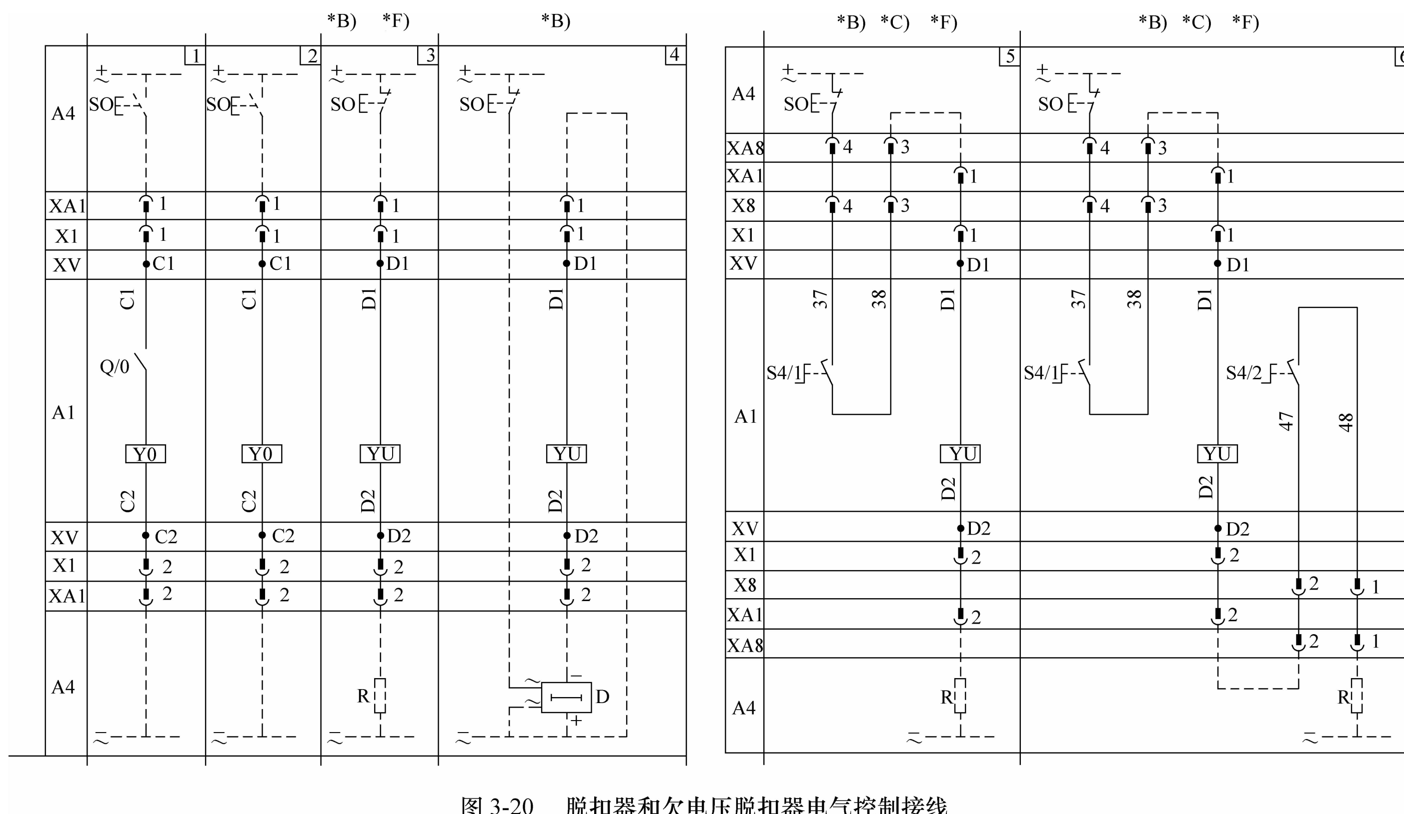


图 3-20　脱扣器和欠电压脱扣器电气控制接线

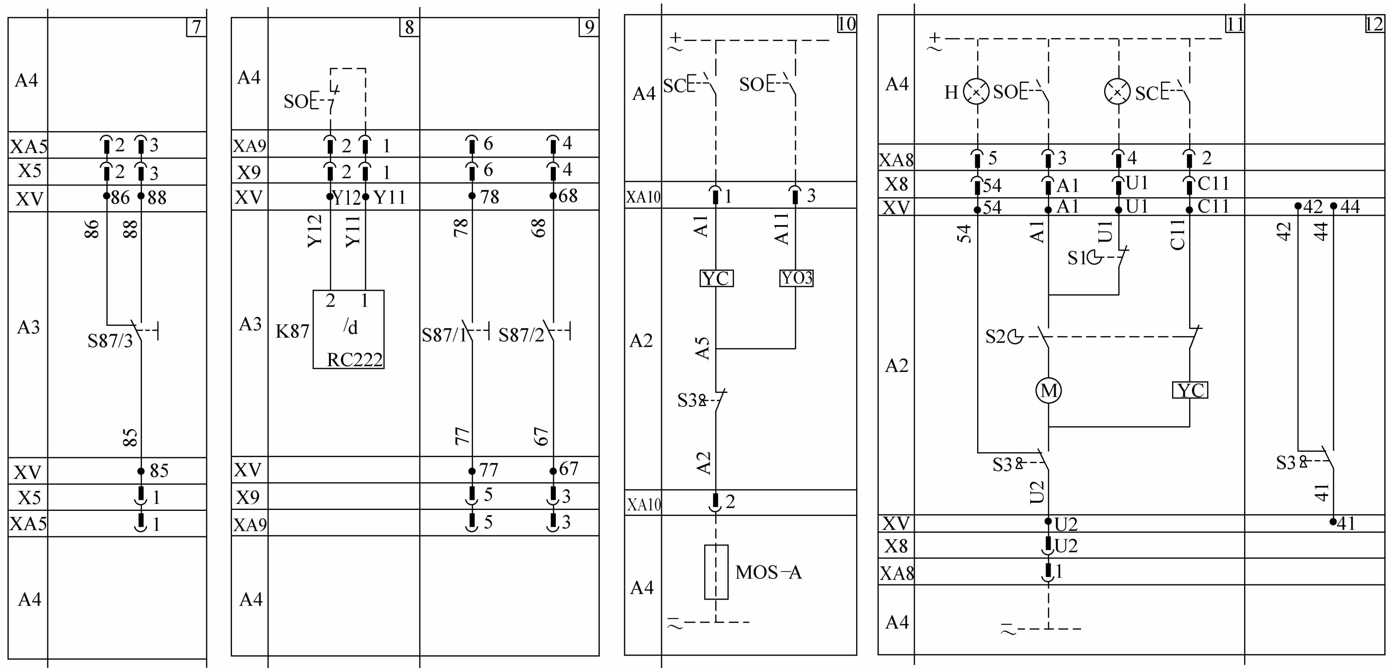


图 3-21　剩余电流脱扣器和遥控接线

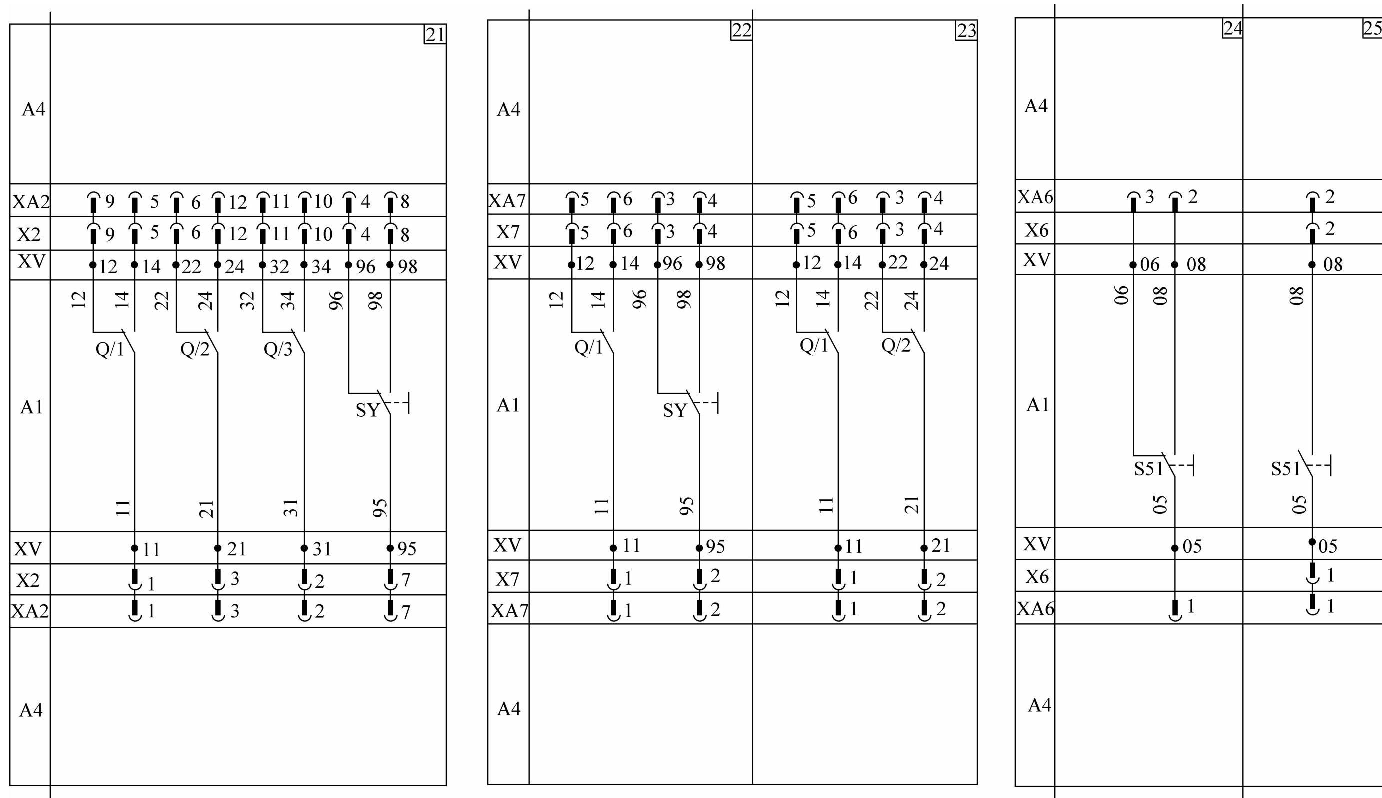


图 3-22 辅助触头接线

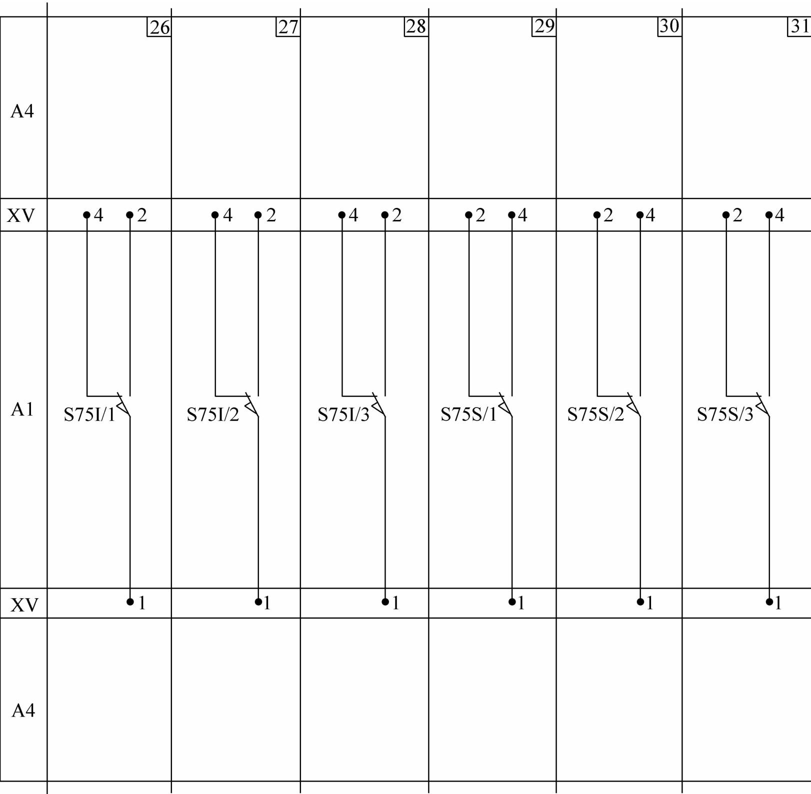


图 3-23　位置触头接线

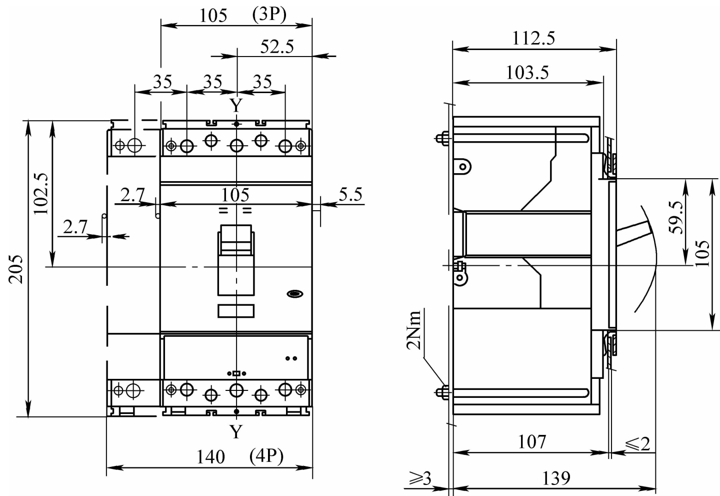


图 3-24　Tmax T4 型固定式断路器外形结构

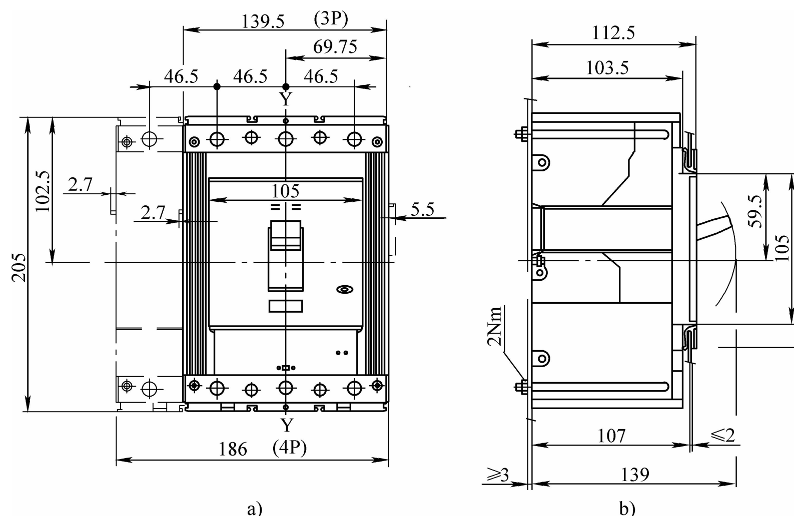


图 3-25　Tmax T5 型固定式断路器外形结构
a）正视图　b）侧视图

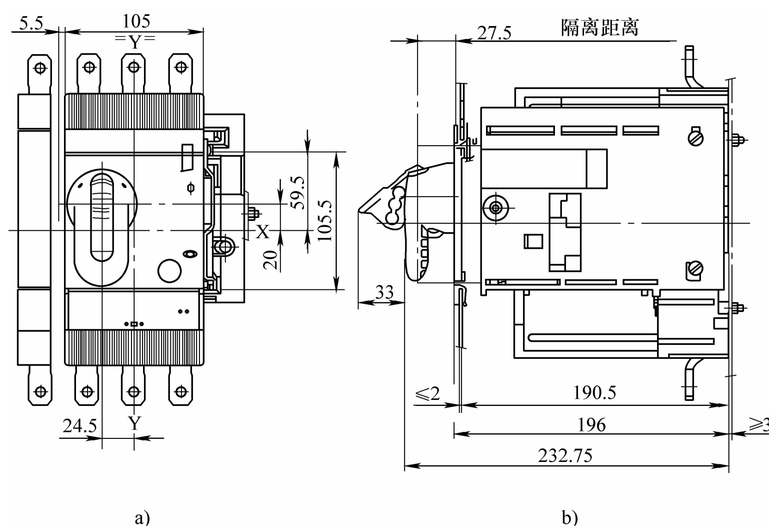


图 3-26　Tmax T4 ~ T5 型抽出式断路器外形结构
a）正视图　b）侧视图

第六节　低压电器的选择

一、低压电器选择的一般原则

1）首先应选用技术设备先进的低压电气设备，设备类型应符合安装条件、保护性能及操作方式的要求。

2）额定电压应不小于控制回路电源额定电压。

3）额定电流应不小于控制回路计算负荷电流。

4）额定短路通断能力应不小于控制回路最大计算短路电流。

5）短时热稳定电流应不小于控制回路计算稳态电流，即三相短路电流有效值。

二、低压断路器的选择

1）低压断路器首先应满足低压电气设备选择的一般原则要求。

2）配电变压器低压侧低压断路器应具有长延时和瞬时动作的特性，其脱扣器的动作电流应按下列原则选择：

①瞬时脱扣器的动作电流，一般为变压器低压侧额定电流的6～10倍。

②长延时脱扣器的动作电流可根据变压器低压侧允许的过负荷电流确定。

3）出线回路低压断路器脱扣器的动作电流应比上一级脱扣器的动作电流至少低一个级差。

①瞬时脱扣器，应躲过回路中短时出现的尖峰负荷：

对于综合性负荷回路

$$I_{op} \geqslant K_{rel}(I_{Mst} + \Sigma I_L - I_{MN}) \tag{3-1}$$

对于照明回路

$$I_{op} \geqslant K_c \Sigma I_L \tag{3-2}$$

式中，I_{op}为瞬时脱扣器的动作电流，单位为A；K_{rel}为可靠系数，取1.2；I_{Mst}为回路中最大一台电动机的起动电流，单位为A；ΣI_L为回路正常最大负荷电流，单位为A；I_{MN}为回路中最大一台电动机的额定电流，单位为A；K_c为照明计算系数，取6。

②长延时脱扣器的动作电流，可按回路最大负荷电流的1.1倍确定。

4）低压断路器的校验：

①低压断路器的分断能力应大于安装处的三相短路电流（周期分量有效值）。

②低压断路器灵敏度应满足下式要求：

$$K_{sen} = \frac{I_{K\cdot min}^{(2)}}{I_{op}} \geqslant 1.5 \tag{3-3}$$

式中，I_{min}为被保护线段的最小短路电流，单位为A；对于TT、TN—C系统，为单相短路电流（一般单相短路电流小，很难满足要求，可用长延时脱扣器作后备保护），对于IT系统为两相短路电流；I_{op}为瞬时脱扣器的动作电流，单位为A；K_{sen}为动作系数，取1.5。

③长延时脱扣器在3倍动作电流时，其可返回时间应大于回路中出现的尖峰负荷持续的时间。

【例4-1】 某工厂配电所10kV电源供电，安装1台SBH11—M—1250型配电变压器，额定容量$S_N = 1250$kV·A，额定电压$U_{N1} = 10$kV，$U_{N2} = 0.4$kV，低压侧选用TMY—120×10型铜母线，长度$L = 3$m，配电变压器0.4kV侧母排处短路电流的计算值见表3-14，试选择该配电变压器低压侧断路器的型号规格。

表3-14　配电变压器0.4kV侧母排处短路电流的计算值

短路点	三相短路				两相短路
	有效值 I_K/kA	稳态值 I_∞/kA	冲击值 i_{imp}/kA	最大有效值 I_{imp}/kA	有效值 I_K/kA
0.4kV母排处	37.24	37.24	79.29	45.81	32.25

解： 1. 断路器型号的选择

选择Emax—E3—V型，3极固定式断路器。选用PR121/P保护脱扣器。

2. 断路器额定电压的选择

断路器的额定电压 $U_N = 440V$，大于系统的额定电压 $U_N = 400V$，满足要求。

3. 断路器额定电流的选择

配电变压器低压侧额定电流按式（2-6）计算，得

$$I_{N2} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U_{N2}} = \frac{1250}{\sqrt{3} \times 0.4}A = 1806A$$

电流互感器电流比取 $n_{TA} = 3000/5 = 1500$

查表 3-8，选择断路器额定电流 $I_N = 2500A$，大于配电变压器低压侧额定电流 $I_{N2} = 1806A$，满足要求。

4. 额定极限短路分断能力的选择

查表 3-8，当 $U_N = 440V$ 时，断路器额定极限短路分断能力 $i_{CU} = 130kA$，大于三相短路冲击电流计算值 $i_{imp} = 79.29kA$，满足要求。

5. 额定运行短路分断电流的选择

查表 3-8，当 $U_N = 440V$ 时，断路器额定运行短路分断电流 $I_{CU} = 100kA$，大于三相短路电流计算值 $I_K = I_\infty = 37.24kA$，满足要求。

6. 额定短时耐受电流电流的选择

查表 3-8，断路器额定短时耐受电流电流 $i_{CU} = 85kA$，大于三相短路冲击电流计算值 $i_{imp} = 79.29kA$。

7. 额定短路合闸峰值电流的选择

查表 3-8，当 $U_N = 440V$ 时，断路器额定短路合闸峰值电流 $i_{CU} = 286kA$，大于三相短路冲击值 $i_{imp} = 79.29kA$，满足要求。

8. PR121/P 过载保护的整定

查表 3-10 可知，L 过载保护动作电流整定值为

$$I_{op} = KI_{N2} = 1.2 \times 1806A = 2167.2A$$

断路器脱扣时间 $t = 3s$。

9. 短路瞬时保护的整定

查表 3-10，I 短路瞬时保护动作整定电流为

$$I_{op} = KI_{n2} = 10I_N = 10 \times 1806A = 18060A$$

断路器瞬时脱扣动作时间 $t \leqslant 30ms$。

10. 保护动作灵敏度的校验

保护动作灵敏度按式（3-3）校验，即

$$K_{sen} = \frac{I_K^{(2)}}{I_{op}} = \frac{32.25}{18.06} = 1.8 > 1.5$$

故断路器动作灵敏度满足要求。

Emax—E3—V 型断路器的技术参数及控制回路的计算值见表 3-15。

选择的断路器各项技术参数满足要求。

三、低压熔断器的选择

1）低压熔断器应满足低压电器设备选择的一般原则要求。

表 3-15　Emax—E3—V 型断路器的技术参数及控制回路的计算值

名　　称	断路器额定值	计算值
额定电压/V	440	400
断路器额定电流/A	2500	1806
额定极限分断电流/kA	130	79.29
额定运行短路分断电流/kA	100	37.24
额定短时耐受电流/kA	85	79.29
额定短路合闸电流/kA	286	79.29
过载保护整定电流/A	$1.2I_{N2}/n_{TA}$	2167.2/1.44
过载保护动作时间/s	3	3
短路瞬时保护动作电流/A	$10I_N/n_{TA}$	18060/12.04
短路瞬时保护动作时间/ms	≤30	30
断路器动作灵敏度	1.5	1.8

2）配电变压器低压熔断器的额定电流可按式（3-4）计算，即

$$I_N = KI_{N2} \tag{3-4}$$

式中，I_N 为熔断器熔体的额定电流，单位为 A；K 为保险系数，一般取 1.2；I_{N2} 为配电变压器低压侧的额定电流，单位为 A。

3）综合性负荷回路熔体电流的选择如下：

对于综合性负荷回路保护熔体电流可按式（3-5）选择，即

$$I_N \geqslant I_{max \cdot st} + (\Sigma I_{max} - I_{max \cdot N}) \tag{3-5}$$

式中，I_N 为熔体额定电流，单位为 A；$I_{max \cdot st}$ 为回路中最大一台电动机的起动电流，单位为 A；ΣI_{max} 为回路正常最大负荷电流，单位为 A；$I_{max \cdot N}$ 为回路中最大一台电动机的额定电流，单位为 A。

4）熔体熔断能力的校验如下：

一般熔体熔断能力按两相短路电流周期分量校验，即

$$K_{sen} = \frac{I_{K \cdot min}^{(2)}}{I_N} \geqslant 10 \tag{3-6}$$

式中，$I_{K \cdot min}^{(2)}$ 为两相短路电流，单位为 A；I_N 为熔体的额定电流，单位为 A。

熔断器的极限分断能力，应大于被保护线路三相短路电流周期分量有效值，即

$$I_{lf} \geqslant I_K^{(3)} \tag{3-7}$$

式中，I_{lf} 为熔断器极限分断能力，单位为 A；$I_K^{(3)}$ 为三相短路电流有效值，单位为 A。

【例 4-2】 某农村安装 1 台 SBH11—M—160/10 型配电变压器，试选择配电变压器低压侧保护熔断器的型号规格。

解： 查表 1-2，配电变压器的额定容量 $S_N = 160\text{kV} \cdot \text{A}$ 时的阻抗值 $Z_T = 40\text{m}\Omega$，按式（1-70）计算三相短路电流有效值，得

$$I_K = \frac{U_{av}}{\sqrt{3}Z_T} = \frac{400}{\sqrt{3} \times 40}\text{kA} = 5.78\text{kA}$$

两相短路电流按式（1-58）计算，得

$$I_K^{(2)}=\frac{\sqrt{3}}{2}I_K=\frac{\sqrt{3}}{2}\times 5.78\text{kA}=5\text{kA}$$

配电变压器低压侧的额定电流按式（2-6）计算，得

$$I_{N2}=\frac{S_N}{\sqrt{3}U_{N2}}=\frac{160}{\sqrt{3}\times 0.4}\text{A}=321.2\text{A}$$

熔断器熔体的额定电流按式（3-4）计算，得

$$I_N=KI_{N2}=1.2\times 321.2\text{A}=385\text{A}$$

查表3-24选择NT2型熔断器，额定电压 $U_N=500\text{V}$，大于配电变压器低压侧的额定电压 $U_N=400\text{V}$，选择额定电流 $I_N=400\text{A}$，大于配电电变压器低压侧的额定电流 $I_{N2}=321.2\text{A}$。

熔断器熔体的熔断灵敏度按式（3-6）校验，得

$$K_{sen}=\frac{I_{K\cdot\min}^{(2)}}{I_N}=\frac{5000}{400}=12.5>10$$

满足灵敏度要求。

第七节　低压断路器的运行维护及故障处理

一、低压断路器的运行维护

低压断路器除了在投入运行前需要做一般性的解体检查外，在运行了一段时间后，经过多次操作和故障跳闸，还必须进行适当的维护，以保持正常工作状态。

1. 运行中的断路器一般检查

1）检查负荷电流是否在额定值范围以内。

2）检查断路器的信号指示与电路分、合状态是否相符。

3）检查断路器的过负荷热脱扣器的整定值是否与过负荷定值的规定相符。

4）检查断路器与母线或出线的连接点有无过热现象。

5）过电流脱扣器的整定值一经调好就不允许随意更动，使用日久后要检查其弹簧是否生锈卡住，以免影响其动作。如发生长时间的负荷变动（增加或减少），需要相应调节过电流脱扣器的整定值，必要时应更换设备或附件。

6）应定期检查各种脱扣器的动作值，有延时者还要检查其延时情况。

7）监听断路器在运行中有无异常音响。

8）定期清除断路器上的尘垢，以免影响操作和绝缘。

2. DW型低压断路器除应做一般性检查外，还应做如下检查：

1）检查辅助触头有无烧蚀现象。

2）检查灭弧栅有无破裂和松动情况，如有损坏，需停止使用，待修配或更换后才能投入运行，以免在断开电路时发生飞弧现象，造成相间短路而发生事故。

3）检查失电压脱扣线圈有无异常声音和过热现象，电磁铁上的短路环有无损伤。

4）检查绝缘连杆有无损伤、放电现象。

5）检查传动机构中的连接部位开口销子以及弹簧等是否完好以及传动机构有无变形、

锈蚀、销钉松脱现象，相间绝缘主轴有无裂痕、表层剥落和放电现象。

6）检查合闸电磁铁机构及电动机合闸机构是否在正常状态。

7）设有金属外壳的断路器应该接地。

3. DZ 型低压断路器除应做一般性检查外，还应做如下检查：

1）检查断路器的外壳有无裂损现象。

2）检查断路器的操作手柄有无裂损现象。

3）检查断路器的电动合闸机构润滑是否良好，机件有无裂损状况。

4. 低压断路器除上述运行检查外，还应安排定期维护，其内容如下：

1）取下灭弧罩，检查灭弧栅片的完整性及清除表面的烟痕和金属粉末，外壳应完整无损，损坏应及时更换。

2）断路器的触头在使用一定的次数或分断短路电流后，如表面有毛刺和颗粒等应及时清理和修整，以保证接触良好。如果触头的银钨合金表面烧损，并超过 1mm 应更换新触头。

3）检查触头的压力，有无因过热而失效，调节三相触头的位置和压力，使其保持三相同进闭合，并保证接触面完整，接触压力一致。

4）用手动缓慢分、合闸，检查辅助触头的常闭、常开工作状态是否符合要求，并清擦其表面，损坏的触头应更换。

5）检查脱扣器的衔铁和弹簧活动是否正常，动作应无卡阻，电磁铁工作极面应清洁平滑，无锈蚀、毛刺和污垢。热元器件的各部位有无损坏，其间隙是否正常。如有以上不正常情况应进行清理或调整。

6）机构的各个摩擦部位应定期加润滑油，每使用一定时间（一般为半年）后，应给操作机构添加润滑油（小容量的塑壳式断路器不需要加油）。

7）检修完毕后，应做传动试验，检查是否正常。特别是电气联锁系统，要确保接线正确，动作可靠。

二、低压断路器的常见故障及处理

1. 固定式低压断路器

固定式低压断路器的常见故障及处理方法见表 3-16。

表 3-16　固定式低压断路器的常见故障及处理方法

故障现象	故障原因	处理方法
手动操作断路器，触头不能闭合	（1）失电压脱扣器无电压或线圈烧坏 （2）储能弹簧变形，闭合力减小 （3）反作用弹簧力过大 （4）机构不能复位再扣	（1）检查线路或更换线圈 （2）更换储能弹簧 （3）重新调整弹簧力 （4）调整再扣接触面至规定值
电动操作断路器，触头不能闭合	（1）操作电压不符 （2）电源容量小 （3）电磁铁拉杆行程不够 （4）电动机操作定位开关失灵 （5）控制器中整流管或电容器损坏	（1）更换相应电压等级的操作电源 （2）提高操作电源容量 （3）重新调整或更换拉杆 （4）重新调整或更换定位开关 （5）更换整流管或电容器
有一相触头不能闭合	（1）一相连杆断裂 （2）限流断路器斥力机构可折连杆间角度变大	（1）更换连杆 （2）调整角度至规定要求

（续）

故障现象	故　障　原　因	处　理　方　法
欠电压脱扣器不能使断路器分断	（1）反力弹簧力变小 （2）若为储能释放，致使储能弹簧力变小 （3）机构卡阻	（1）调整弹簧 （2）调整储能弹簧 （3）消除卡阻原因
断路器闭合后一定时间内自行分断	（1）过电流脱扣长延时整定值有误 （2）热元器件或半导体延时电路元器件变质	（1）重新调整整定值 （2）更换元器件
分励脱扣器不能使断路器分断	（1）线圈短路 （2）电源电压太低 （3）再扣接触面太大 （4）螺钉松动	（1）更换线圈 （2）调整电源电压 （3）重新调整再扣接触面 （4）拧紧螺钉
起动电动机时断路器立即分断	（1）过电流脱扣瞬时动作电流整定值太小 （2）空气式脱扣器阀门失灵，或橡皮膜破裂	（1）调整过电流脱扣器整定值 （2）更换空气式脱扣器或修理损坏部件
欠电压脱扣器噪声大	（1）反力弹簧力太大 （2）铁心工作面有油污 （3）短路环断裂	（1）重新调整 （2）清除油污 （3）更换短路环
触头温度过高	（1）触头压力过低 （2）触头表面过分磨损或接触不良	（1）调整触头压力或更换弹簧 （2）更换触头或清理接触面
辅助触头失灵	（1）动触头卡死或脱落 （2）传动机构断裂，滚轮脱落	（1）重新装好动触头 （2）更换传动杆和滚轮
半导体过电流脱扣器误动	（1）半导体元器件损坏 （2）定值不稳定 （3）外界电磁场干扰	（1）更换损坏的元器件 （2）换成有温度补偿的稳压管 （3）进行隔离，使其免受电磁场影响

2. 抽屉式断路器

抽屉式断路器的常见故障及处理方法见表 3-17。

表 3-17　抽屉式断路器的常见故障及处理方法

故障现象	故障原因	处　理　方　法
断路器跳闸（故障指示灯亮）	过载故障脱扣（长延时指示灯亮）	（1）在智能控制器上检查分断电流值及动作时间 （2）分析负载及电网运行情况 （3）如确认过载应立即寻找及排除故障 （4）如实际运行电流与长延时动作电流不匹配，请根据实际运行电流修改长延时动作电流整定值，以适当地匹配保护 （5）按下复位按钮，将断路器重新合闸
	短路故障脱扣（短延时或瞬时指示灯亮）	（1）在智能控制器上检查分断电流值及动作时间 （2）如确认短路应立即寻找及排除故障 （3）检查智能控制器的整定值 （4）检查断路器是否完好，并确定能否合闸运行 （5）按下复位按钮，将断路器重新合闸

（续）

故障现象	故障原因	处 理 方 法
断路器跳闸（故障指示灯亮）	接地故障脱扣（接地故障指示灯亮）	（1）在智能控制器上检查分断电流值及动作时间 （2）如确认存在接地故障应立即寻找及排除故障 （3）如检查无接地故障，请检查接地故障电流整定值是否合适，是否与实际保护相匹配；如整定不合适，应修改接地故障电流整定值 （4）按下复位按钮，将断路器重新合闸
	欠电压脱扣器脱扣	（1）检查电源电压是否低于70% U_e （2）检查欠电压脱扣器及控制单元是否出故障
	机械联锁动作	检查两台装有机构联锁的断路器工作状态
断路器不能合闸	欠电压脱扣器没有吸合	（1）欠电压脱扣器是否已通电 （2）检查电源电压是否低于70% U_e （3）检查欠电压脱扣器及控制单元是否出故障，如确认故障应更换欠电压脱扣器
	复位按钮没有复位	按下复位钮，将断路器重新合闸
	抽屉式断路器未摇到位	将抽屉式断路器摇到位（应“咔咔”两下声响）
	抽屉式断路器二次回路接触不良	检查二次回路接触情况，并予以排除
	断路器未预储能	（1）检查电动机控制电源是否接通并且必须不小于85% U_s （2）检查电动机储能机构有无故障
	机械联锁动作，断路器被锁住	检查两台断路器机械联锁工作状态是否正常
	合闸电磁铁问题	（1）检查合闸电磁铁电源电压必须不小于85% U_s （2）如合闸电磁铁有问题，不能吸合应更换
断路器合闸后跳闸	（1）立即跳闸 （2）延时跳闸	（1）可能合闸时电路中有短路电流，应寻找并排除故障 （2）电路中有无过载电流，应寻找并排除故障 （3）应检查断路器机构是否处于完好状态 （4）检查智能控制器整定值是否合理，不合理要重新整定 （5）按下复位钮，将断路器重新合闸
断路器频繁跳闸	现场过负荷运行引起过载保护跳闸，由于过载热记忆功能未能及时断电清除，又重新合闸	控制器断电一次，或30min后再合闸断路器
断路器不能分闸	（1）不能远距离电动使断路器分闸 （2）不能由分闸按钮使断路器分闸	（1）检查分励脱扣器电路连接是否可靠及分励脱扣器有无故障，如确认有故障应更换分励脱扣器 （2）检查操作机构，有无机械故障
断路器不能储能	（1）不能手动储能 （2）不能电动储能	（1）检查电动储能装置控制电源电压应不小于85% U_s，电路连接有无问题 （2）检查电动机有无问题 （3）储能机构故障

（续）

故障现象	故障原因	处 理 方 法
抽屉式断路器在“分离”位置不能抽出断路器	（1）手柄未拔出 （2）断路器没有完全达到“分离”位置	拔出手柄，把断路器完全摇到“分离”位置
抽屉式断路器不能摇到“连接”位置	有异物落入抽屉座内卡死摇进机构或摇进机构齿轮有损坏	检查有无异物和齿条及齿轮情况
智能控制器屏幕无显示	（1）智能控制器没有接通电源 （2）辅助电源输入端电压不正常 （3）基座变压器二次侧输出电压不正常 （4）基座变压器二次侧输出端与控制器连接不可靠	（1）检查智能控制器电源接通是否良好 （2）切除智能控制器控制电源，然后再接通电源，如故障依然存在，则可能控制器有问题需更换
H 型控制器通信不正常	（1）通信线与断路器接线端子没有可靠连接 （2）通信线 10#、11# 端次序接反 （3）通信距离、连线方式存在问题不符合要求 （4）断路器通信地址设置存在问题	（1）检查通信线与断路器接线端子是否连接可靠或是否错接 （2）检查通信线 10#、11# 端顺序是否接反，如接反应改正 （3）检查通信距离、连接方式是否符合要求 （4）检查断路器通信地址设置是否正确并无冲突

第八节　交流接触器

一、概述

交流接触器用来频繁地接通和分断电源主电路、电动机及其他负荷的控制电路，并可实现远距离控制。交流接触器具有操作方便，动作速度快，灭弧性能好的特点。在自动控制系统中得到广泛应用。

在一般情况下，交流接触器是用按钮控制的。在自动控制系统中，也可用继电器、限位开关或其他控制元件组成自动控制电路实现控制。接触器还具有失电压或欠电压保护的作用。

二、A 系列交流接触器

1. 简介

A 系列三相交流接触器，额定电压 400V、415V、690V，控制电动机的功率 4～560kW，额定电流由 25～1650A。耐受短路冲击电流，无熔管型保护为 50kA，有熔管型保护为 80kA。配置 TA 系列热过载继电器保护。

2. 技术参数

A 系列交流接触器主要技术参数见表 3-18。

表 3-18　系列交流接触器主要技术参数

型号	控制功率/kW	额定电流/A	额定工作电流/A		
			400V	415V	690V
A9	4	25	9	9	7
A12	5.5	27	12	12	9
A16	7.5	30	17	17	10
A26	11	45	26	26	17
A30	15	55	32	32	21
A40	18.5	60	37	37	25
A50	22	100	50	50	35
A63	30	115	65	65	43
A75	37	125	75	75	46
A95	45	145	96	96	65
A110	55	160	110	110	82
A145	75	250	145	145	120
A185	90	275	185	185	170
A210	110	350	210	210	210
A260	140	400	260	260	220
A300	160	450	305	305	280
AF400	200	550	400	400	370
AF460	250	650	460	460	400
AF580	315	800	580	580	550
AF750	400	1000	750	750	700
AF1350	475	1350	860	860	860
AF1650	560	1650	1050	1050	1050

三、B 系列交流接触器

1. 简介

交流操作的 B 系列交流接触器主要用于交流 50Hz 或 60Hz，电压 660V 及以下、电流 475A 及以下的电力线路中，供远距离接通与分断电路之用，还适用于频繁地起动、停止三相交流电动机。它具有失电压保护作用，常与 T 系列热断电器组成电磁起动器。此时，具有过负荷及断相保护作用。

B 系列交流接触器有多种电压线圈可供用户选用，并配有多种附件，供用户选配，安装也很简便。B 系列交流接触器通用件多，是它的一个显著特点。

B 系列和 K 型交流接触器有正装式和倒装式两种结构形式。正装式触头系统在前面，磁系统在后面。倒装式触头系统在后面，磁系统在前面。正装式 B460 型交流接触器结构如图 3-27 所示，倒装式 B105～B370 型交流接触器结构如图 3-28 所示。

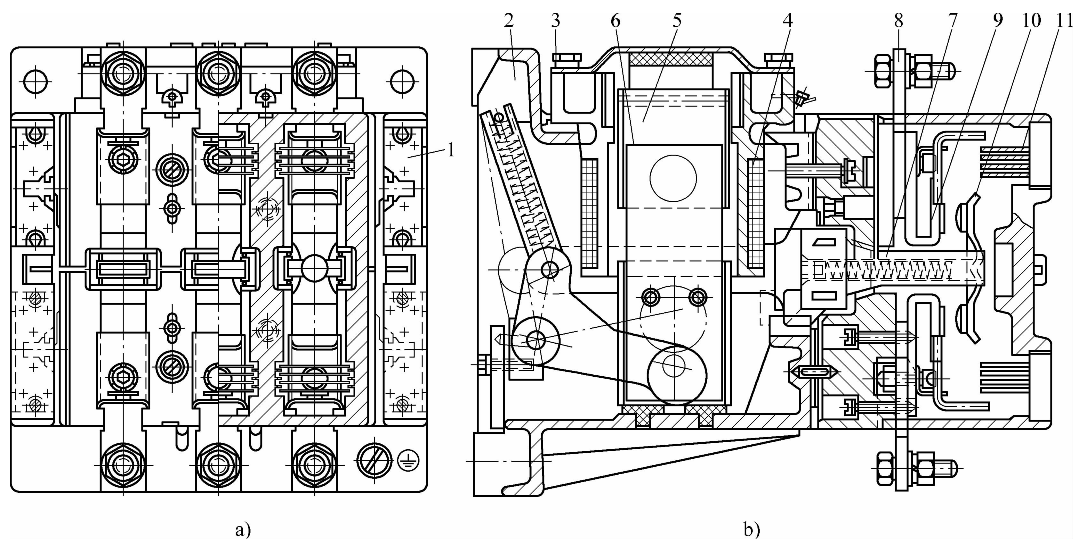


图 3-27　正装式 B460 型交流接触器结构

a）正视图　b）剖视图

1—辅助触头　2—基座　3—传动机构　4—线圈　5—静铁心　6—动铁心

7—动触头支架　8—主接线板　9—静触头　10—动触头　11—灭弧室

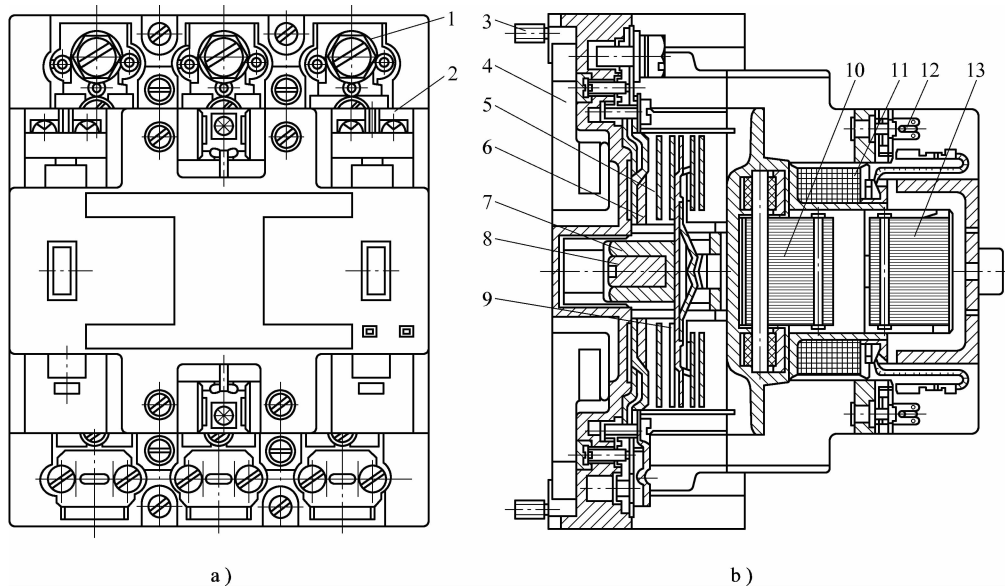


图 3-28　倒装式 B105～B370 型交流接触器结构

a）正视图　b）剖视图

1—主接线板　2—辅助触头　3—安装螺钉　4—基座　5—灭弧栅　6—主静触头　7—主动触头

8—主触头弹簧　9—动触头支架　10—静铁心　11—线圈　12—线圈接头　13—动铁心

2. 技术参数

B 系列交流接触器的技术参数见表 3-19。

表 3-19　B 系列交流接触器的技术参数

型号	额定电压/V	额定工作电流/A	控制功率/kW	额定工作电流/A	控制功率/kW	额定闭合能力/A	额定分断能力/A	最多辅助触头数
		380V		660V		380V		
B16	660	15.5	7.5	6.7	5.5	190	155	3 开 2 闭
B25		22	11	13	11	270	220	
B37		37	18.5	21	18.5	445	370	4 开 4 闭
B45		45	22	25	22	540	450	
B65		65	33	45	40	780	650	
B85		85	45	53	50	1020	850	
B105		105	55	82	75	1260	1050	
B170		170	90	118	110	2040	1700	
B250		250	132	170	160	3000	2500	
B370		370	200	268	250	4450	3700	
B460		475	250	337	315	5700	4750	

四、交流接触器的安装

1. 交流接触器安装前的检查

1）检查接触器铭牌及线圈上的技术数据（如额定电压、额定电流、操作频率和暂载率等）是否符合实际使用要求。

2）用手推动接触器的活动部分，要求动作灵活无卡阻现象。

3）清除铁心极面上的防锈油，以免油垢粘滞而造成接触器断电不释放。

4）检查并调整触头的工作参数（开距、超程、初压力和终压力等），并使接触器触头动作同步。

5）检查接触器在 85% 额定电压时能否正常动作，会不会卡住；在失电压或欠电压时能不能释放。

6）检测接触器的绝缘电阻。

2. 交流接触器安装注意事项

1）一般应安装在垂直面上，倾斜度不应超过 5°，要注意留有适当的飞弧空间，以免烧坏相邻电器。

2）安装位置及高度应便于日常检查和维修，安装地点应无剧烈振动。

3）安装孔的螺钉应装有弹簧垫圈和平垫圈，并拧紧螺钉以防松脱或振动，不要有零件落入接触器内部。

4）检查接线正确无误后，应在主触头不带电情况下，先使吸引线圈通电、分合数次，

检查接触器动作是否可靠，然后才能投入使用。

5）金属外壳或条架应可靠接地。

五、交流接触器的运行维护

经常或定期检查接触器的运行情况，进行必要的维修是保证其运行可靠，是交流接触器延长使用寿命的重要措施。

1）维修接触器时，应切断电源，且进线端应有明显的断开点，确保维修人员的安全。

2）在使用中，应定期检查接触器的各部件，要求可动部分无卡住、紧固体无松脱、零部件无损坏，对有故障的元器件应及时处理。

3）触头系统检查：

①检查动、静触头是否对准，三相闭合是否同期，触头弹簧压力三相是否一致。

②主触头表面应经常保持清洁，不允许涂油，当触头表面因电弧作用而形成金属小珠影响接触时，可用小锉铲除但不能使用砂纸。当触头严重磨损后，厚度只剩下1/3时，应及时更换触头。银及银基合金触头表面在分断电弧中生成的黑色氧化膜接触电阻很低，不会造成接触不良现象，因此不必锉修，否则将会大大缩短触头寿命。

③经维修或更换后的触头应调整开距、超程及触头压力，使其符合有关参数。

④检查辅助触头动作是否灵活，静触头是否有松动或脱落现象，触头开距及行程要符合要求，并应测量接触情况，发现接触不良且不易修复时，应更换新触头。

⑤清理进出线相间污物，以防相间短路，并摇测相间绝缘电阻值，其阻值不应低于10MΩ。

4）接触器的铁心维修：

①用棉纱蘸汽油擦铁心端面，除去油垢、灰尘等，然后用布擦干。

②检查各类缓冲件是否齐全，位置是否正确。

③检查铁心紧固件是否松动，铁心端面是否松散。

④短路环有无脱落或断裂，特别注意隐裂。断裂现象会造成严重噪声，此时应更换短路环或铁心。

⑤检查由磁铁吸合是否正常，有无错位现象。

5）接触器的灭弧系统检查：

①带有灭弧罩的接触器，一定要带灭弧罩使用，以防发生短路事故。

②拆装灭弧罩时应注意不要将它碰碎。

③检修灭弧罩应将它取下，用毛刷清除罩内脱落物及金属颗粒，以保护其良好的灭弧性能，灭弧罩有裂损应以更换。对于栅片灭弧罩，应检查栅片是否完整或烧损变形，严重松脱、位置变化等。若不易修复者，则应更换。

6）接触器电磁线圈的检查：

①检查吸引线圈在操作电源电压为线圈额定电压值的85%～105%时，应能可靠工作，当操作电源电压低于线圈额定电压值的40%时应能可靠释放。

②检查吸引线圈的引线头与导线的连接是否良好。

③线圈骨架有无裂纹、磨损或固定不正常等情况，如发现应及早处理或更换。

④检查电磁线圈有无过热，线圈过热一般是由于出现匝间短路造成的，此时可测其直流电阻与同类线圈比较予以判断。若不易修复时，应予以更换。

六、交流接触器的常见故障及处理方法（见表 3-20）

表 3-20　交流接触器的常见故障及处理方法

故障现象	故障原因	处理方法
铁心吸不上或吸力不足	（1）操作电源容量小、电压过低或波动过大 （2）电源或操作回路断线，辅助触头接触不良 （3）线圈参数与使用条件不符 （4）部件受损 （5）触头弹簧压力与超程过大	（1）增加电源容量，调高电源电压 （2）检修操作回路及触头 （3）更换线圈 （4）修理受损部件 （5）调整触头参数
铁心不释放或释放缓慢	（1）触头弹簧压力过小 （2）触头熔焊 （3）部件卡阻，转轴生锈或歪斜 （4）反力弹簧有损坏 （5）铁心极面有油污或尘埃 （6）E 形铁心的去磁气隙消失，剩磁增大，使铁心不易释放	（1）调整触头压力参数或更换弹簧 （2）修理或更换触头，排除熔焊故障 （3）排除卡阻、修理受损部件 （4）更换反力弹簧 （5）清理铁心表面 （6）更换铁心
电磁铁噪声大	（1）电源电压过低 （2）触头弹簧压力过大 （3）磁系统歪斜或机械卡住，使铁心不能吸平 （4）极面生锈或油垢等侵入铁心极面 （5）短路环断裂 （6）铁心极面磨损过度而不平 （7）动、静铁心夹紧螺钉松动	（1）提高电源电压 （2）调整触头弹簧压力 （3）排除机械卡住部位 （4）清理铁心极面 （5）更换铁心或短路环 （6）更换铁心 （7）夹紧铁心
线圈过热或烧损	（1）电源电压过高或过低 （2）线圈参数与使用条件不符 （3）操作频率过高 （4）线圈制作不良或受腐蚀，导线的绝缘损坏，引起匝间短路 （5）使用环境温度高 （6）运动部件被卡住 （7）交流铁心极面不平或中柱气隙过大 （8）动断联锁触头熔焊不释放	（1）调整电源电压 （2）调换线圈或接触器 （3）选择操作频率高的接触器 （4）更换线圈或修复绝缘损坏部位 （5）换用特殊设计的线圈或采取降温措施 （6）排除卡阻现象 （7）处理极面或调换铁心 （8）调整联锁触头参数，更换烧坏的线圈
触头过度磨损	（1）选用不当，反接制动容量不足 （2）三相触头动作不同步 （3）负载侧短路 （4）操作频率过高	（1）降低容量使用，或更换重任务接触器 （2）调整三相触头使之同步 （3）排除短路，更换触头 （4）更换高操作频率的接触器
触头过热或灼伤	（1）触头压力过小 （2）触头表面高低不平，有油污及金属颗粒 （3）环境温度过高或在密封箱中使用 （4）操作频率过高，工作电流过大，触头断开容量不够 （5）触头超行程小 （6）负载电流值大	（1）调高触头弹簧压力或更换弹簧 （2）清理触头表面 （3）降低容量使用 （4）更换大容最和操作频率高的接触器 （5）调整超行程，或更换触头 （6）查明过负荷原因，采取相应措施

（续）

故障现象	故　障　原　因	处　理　方　法
相间短路	（1）电动机正、反转用接触器联锁不可靠，因误动而造成相间短路或转换过程中发生弧光短路 （2）尘埃、水及油垢使绝缘变坏 （3）零部件损坏、被电弧烧损而严重炭化	（1）检查电气与机械联锁，延长可转换时间或控制回路上加中间环节 （2）经常清理，保持干燥 （3）更换已炭化的零部件

第九节　剩余电流保护器

一、概述

低压配电线路的故障主要是三相短路、两相短路及接地故障。由于相间短路产生很大的短路电流，故可用熔断器、断路器等开关设备来自动切断电源。由于其保护动作值按躲过正常负荷电流整定，故动作值大，因此一般情况下接地故障靠熔断器、断路器难以自动切除，或者说其灵敏度满足不了要求。人们利用电气线路或电气设备发生单相接地短路故障时产生的剩余电流切断故障线路或设备电源的保护电器，即为通常所称的剩余电流保护器。由于剩余电流保护器动作灵敏，切断电源时间短，因此只要能合理选用和正确安装、使用剩余电流保护器，对于保护人身安全、防止设备损坏和预防火灾产生会有明显的作用。

Emax 系列断路器，配备 PR122/P、PR123/P 电子分励脱扣器，可与 RCQ 剩余电流继电器相配合。同时 RCQ 配置一个独立电流传感器，可测出对地泄漏电流 0.03～30A，鉴于 RCQ 具有大范围的设定值，它可应用于主配电柜列终端用电设备的所有剩余电流保护的需要。当 RCQ 剩余电流继电器门限电流达到设定值时，在 0～5s 时限内，保护动作，切除故障回路，确保人身及设备安全。

三相 DDK—30 型剩余电流保护装置的结构如图 3-29 所示。

RCQ 剩余电流继电器如图 3-30 所示。

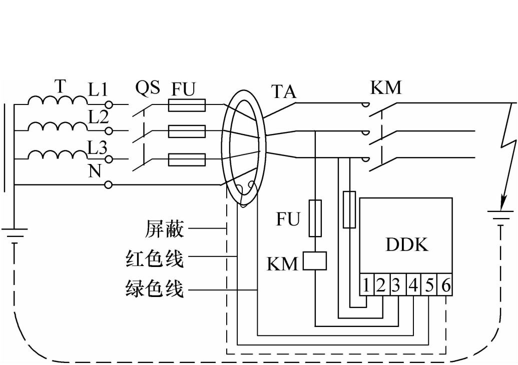


图 3-29　三相电磁式 DDK—30 型剩余电流保护装置的结构

T—配电变压器　L1、L2、L3—配电变压器低压侧相线接线桩头　N—零线接线桩头　QS—隔离开关　FU—熔断器　TA—零序电流互感器　KM—接触器　DDK—30—漏电保护器型号

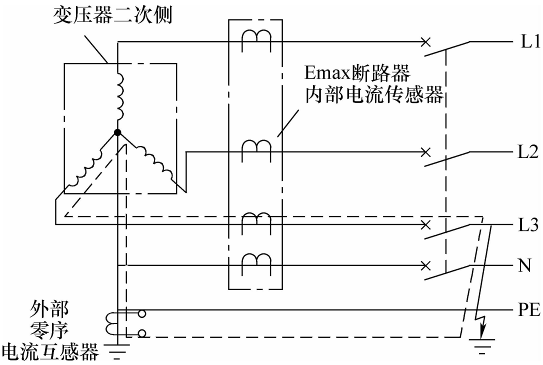


图 3-30　RCQ 剩余电流继电器

二、技术参数

FIN、ENP 型剩余电流断路器的技术参数见表 3-21。

表 3-21　FIN、FNP 型剩余电流断路器的技术参数

型号及名称		FIN 交流剩余电流断路器			FNP 交流脉动直流剩余电流断路器			
额定电流/A		25,40,63			16	25,40,63		
额定剩余电流动作电流/A		0.03,0.1,0.3,0.5			0.01	0.03,0.3,0.5		
额定电压/V		240(220),415(380)			240(220)	240(220),415(380)		
极数		2,3,4			2	2,4		
短路强度	额定电流/A	25	40	63	16	25	40	63
	短路强度	1.5	2.0	3.0	1.5	1.5	2.0	3.0
分断时间/s		≤0.03						
规范及标准		IEC755,IEC898						

RCQ 剩余电流继电器技术参数见表 3-22。

表 3-22　RCQ 剩余电流继电器技术参数

名　　称	技术参数	名　　称	技术参数
电源电压/V　AC	80～500	传感器（封密式）/A	
DC	48～125	零序传感器 ϕ60mm	0.03～30
门限值电流设定/A　$I\Delta n$		零序传感器 ϕ110mm	0.03～30
第一段设定	0.03,0.05,0.1,0.3,0.5	传感器（开启式）	
第二段设定	1，3，5，10，30	零序传感器 ϕ110mm	0.3～30
第一段脱扣时间设定/s	0，0.05，0.1，0.25	零序传感器 ϕ180mm	0.1～30
第二段脱扣时间设定/s	0.5，1，2.5，5	零序传感器 ϕ230mm	0.1～30

三、剩余电流保护器的安装

1）安装前必须检查剩余电流保护器的额定电压、额定电流、短路通断能力、漏电动作电流、漏电不动作电流以及漏电动作时间等是否符合要求。

2）剩余电流保护器安装接线时，要根据配电系统保护接地形式，按表 3-23 所示的接线图进行接线。接线时需分清相线和零线。

表 3-23　剩余电流保护的接线方式

接线方式　极数 / 相数	二极	三极	四极
单相 220V	T RCD		

（续）

相　数	接线方式	二极	三极	四极
三相 380/220V 接地保护	TT 系统			
三相 380/220V 接零保护	TN—S 系统			
	TN—C—S 系统			

3）对带短路保护的剩余电流保护器，在分断短路电流时，位于电源侧的排气孔往往有电弧喷出，故应在安装时保证电弧喷出方向有足够的飞弧距离。

4）剩余电流保护器的安装应尽量远离其他铁磁体和电流很大的载流导体。

5）对施工现场开关箱里使用的剩余电流保护器须采用防溅型。

6）剩余电流保护器后面的工作零线不能重复接地。

7）采用分级剩余电流保护系统和分支线漏电保护的线路，每一分支线路必须有单独的工作零线；上下级剩余电流保护器的额定漏电动作电流与漏电时间均应做到相互配合，额定漏电动作电流级差通常为 1.2～2.5 倍，时间级差 0.1～0.2s。

8）工作零线不能就近接线，单相负荷不能在剩余电流保护器两端跨接。

9）照明以及其他单相用电负荷要均匀分布到三相电源线上，偏差大时要及时调整，力求使各相漏电电流大致相等。

10）剩余电流保护器安装后应进行试验，试验包括：①用试验按钮试验 3 次，均应正确动作；②带负荷分合交流接触器或开关 3 次，不应误动作；③每相分别用了 3kΩ 试验电阻接地试跳，应可靠动作。

四、剩余电流保护器的运行维护

由于剩余电流保护器是涉及人身安全的重要电气产品，因此在日常工作中要按照国家有关漏电保护器运行的规定，做好运行维护工作，发现问题要及时处理。

1）剩余电流保护器投入运行后，应每年对保护系统进行一次普查，重点普查项目包括：①测试漏电动作电流值是否符合规定；②测量电网和电气设备的绝缘电阻；③测量中性点漏电流，消除电网中的各种漏电隐患；④检查变压器和电机接地装置有无松动和接触不良。

2）电工每月至少对保护器用试跳器试验一次，每当雷击或其他原因使保护动作后，应作一次试验。雷雨季节需增加试验次数。停用的保护器使用前应试验一次。

3）保护器动作后，若经检查未发现事故点，允许试送电一次。如果再次动作，应查明原因，找出故障，不得连续强送电。

4）严禁私自撤除保护器或强迫送电。

5）剩余电流保护器故障后要及时更换，并由专业人员修理。

6）在保护范围内发生人身触电伤亡事故，应检查保护器动作情况，分析未能起到保护作用的原因，在未调查前要保护好现场，不得改动保护器。

第十节　低压熔断器

一、概述

在配电变压器、配电线路、电动机、照明、及家用电器等电路中，为了防止电气设备的过负荷运行，或因发生短路故障而损坏电气设备，常用熔断器保护电气设备。

在电气设备的保护中，广泛选用 NT 系列熔断器，其外形结构如图 3-31 所示。

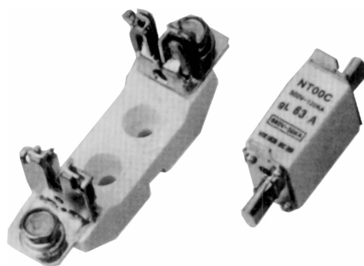


图 3-31　NT 系列熔断器的外形结构

二、技术参数

NT 系列熔断器的技术参数见表 3-24。QSA 系列隔离开关熔断器组的技术参数见表 3-25。

三、熔断器的安装

1）总开关熔断器熔体的额定电流应与进户线的总熔体相配合，并尽量接近被保护线路的实际负荷电流，但要确保正常情况下出现短时间尖峰负荷电流时，熔体不应熔断。

2）采用熔断器保护时，熔断器应装在各相上；单相线路的中性线也应装熔断器；在线路分支处应加装熔断器。但在三相四线回路中的中性线上不允许装熔断器；采用接零保护的零线上严禁装熔断器。

3）安装熔体时应沿螺栓顺时针方向弯过来，压在垫圈下，以保证接触良好。

4）熔断器应垂直安装，以保证插刀和刀夹座紧密接触，避免增大接触电阻，造成温度升高而发生误动作。有时因接触不良还会产生火花，干扰弱电装置。

表 3-24　NT 系列熔断器的技术参数

型号	额定电流/A	额定电压/V	型号	额定电流/A	额定电压/V	型号	额定电流/A	额定电压/V
NT1	80	500　600	NT00	50	500　600	NT0	160	500
	100	500　600		63	500　600	NT2	125	500
	125	500　600		80	500　600		160	500　600
	160	500　600		100	500　600		200	500　600
	200	500　600	NT0	6	500　600		224	500　600
	224	500		10	500　600		250	500　600
	250	500		16	500　600		300	500　600
NT00	2	500　600		20	500　600		315	500　600
	4	500　600		35	500　600		355	500　600
	6	500　600		32	500　600		400	500　600
	10	500　600		35	500　600	NT3	315	500　600
	16	500　600		40	500　600		355	500　600
	20	500　600		50	500　600		400	500　600
	25	500　600		63	500　600		425	500　600
	32	500　600		80	500　600		500	500
	36	500　600		100	500　600	NT4	800	500　600
	40	500　600		125	500		1000	500　600

表 3-25　QSA 系列隔离开关熔断器组的技术参数

型 号 规 格	QSA63	QSA125	QSA160	QSA250	QSA400	QSA630	QSA800
极数	2,3,4					2,3	
额定绝缘电压/V	1000						
额定工作电压/V	AC:380,660,1000,DC:220,440						
约定封闭发热电流 I_{the}/A	63	125	160	250	400	640	800
额定工作电流(I_e)/功率:AC							
380V $\cos\varphi$0.35 AC—23 类别/(A/kW)	63/30	125/75	160/90	250/132	400/200	630/333	800/425
660V $\cos\varphi$0.35 AC—23 类别/(A/kW)	63/55	125/100	160/150	250/220	400/375	630/560	800/710
1000V $\cos\varphi$0.65 AC—22 类别/A	63	63	160	250	400	630	800
-1000V $\cos\varphi$0.35 AC—23 类别/(A/kW)			160/220	250/325	315/425	355/475	355/475
额定工作电流(I_e)/功率:DC							
220VL/R=15ms DC—23 类别/A	63	125	160	250	400	630	800
440VL/R=15ms DC—23 类别/A	63	125	160	250	400	630	800
额定接通能力(660V)AC—23 类别/A	630	1250	1600	2500	4000	6300	8000
额定分断能力(660V)AC—23 类别/A	504	1000	1280	2000	3200	5040	6400
额定容性功率(380V)/kvar	31	62	78	123	197	315	390
额定容性接通和分断能力 380V/kvar	131	131	251	251	251	540	540

（续）

<table>
<tr><td colspan="2">型 号 规 格</td><td>QSA63</td><td>QSA125</td><td>QSA160</td><td>QSA250</td><td>QSA400</td><td>QSA630</td><td>QSA800</td></tr>
<tr><td rowspan="2">额定限制短路电流(rms)/kA</td><td>380V</td><td colspan="7">100</td></tr>
<tr><td>660V</td><td colspan="7">50</td></tr>
<tr><td colspan="2">最大熔断体/A</td><td colspan="3">160</td><td colspan="2">400</td><td>630</td><td>800</td></tr>
<tr><td rowspan="2">配用熔断体尺码</td><td>刀型</td><td colspan="3">00</td><td colspan="2">1～2</td><td colspan="2">3</td></tr>
<tr><td>螺栓连接型</td><td colspan="2">00</td><td colspan="3">1～2</td><td colspan="2">3</td></tr>
<tr><td colspan="2">机械寿命/次</td><td colspan="2">15000</td><td colspan="3">12000</td><td colspan="2">3000</td></tr>
<tr><td colspan="2">电寿命/次</td><td colspan="2">1000</td><td colspan="3">300</td><td>200</td><td>150</td></tr>
<tr><td colspan="2">操作力矩/N · m</td><td colspan="2">7.5</td><td colspan="3">16</td><td colspan="2">30</td></tr>
<tr><td colspan="2">中性极电流 I_{the}/I_e(AC—22)/A/A</td><td>63/63</td><td>125/125</td><td>160/160</td><td>250/250</td><td>400/400</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">中性极电流 I_{the}/A</td><td>63</td><td>125</td><td>160</td><td>250</td><td>400</td><td>630</td><td>800</td></tr>
<tr><td colspan="2">辅助开关 380V AC—15/A</td><td colspan="5">4</td><td colspan="2">6</td></tr>
<tr><td colspan="2">辅助开关 220V DC—13/A</td><td colspan="5">4</td><td colspan="2">6</td></tr>
</table>

5）安装熔体时应注意不让熔体受机械损伤，否则，相当于熔体截面面积变小，可能出现电气设备正常运行时熔体却熔断的情况，影响设备正常运行。也不宜用多根熔丝绞合在一起代替较粗的熔体，以防在非预定的电流值内熔断。

6）螺旋式熔断器的进线应接在底座的中心点接线柱上，出线应接在螺纹壳上。

7）更换新熔体时，一定要用与原来同样规格及材料的熔体。以保证动作的可靠性。

8）更换熔体时，一定要先切断电源，不允许带负荷拔出熔体，特殊情况也应当设法先切断回路中的负荷，并做好必要的安全措施。

9）具有限流作用的熔断器在熔断电路时过电压要高些，选用时应注意。

10）一般在过负荷时变截面积熔体在小截面积处熔断，熔断部位的长度也较短，变截面熔体的大截面积部位不熔化。熔体爆熔或熔断部位很长，则多因短路引起熔断，应查明并排除电路故障。

四、熔断器的运行维护

1）检查负荷大小是否与熔体的额定值相配合。

2）检查熔体管外观有无破损、变形，瓷绝缘部分有无破损或闪络放电痕迹。

3）检查熔体有无氧化腐蚀或损伤现象，如有碳化现象应擦净或更换。

4）检查熔断管与插夹座的连接处有无过热现象，接触是否紧密。

5）有熔断信号指示器的熔断器，指示是否在正常状态。

6）熔断器环境温度应与被保护对象的环境温度基本一致。若相差过大可能使熔断器误动作。

7）检查底座有无松动现象，并应及时清理进入熔断器的灰尘。

五、熔断器的常见故障及处理

低压熔断器的常见故障及处理方法见表 3-26。

表 3-26　低压熔断器的常见故障及处理方法

故障现象	故 障 原 因	处 理 方 法
熔断器瓷件断裂	（1）制造质量不良 （2）外力破坏 （3）过热引起	如是制造质量不良或外力破坏，应停电更换；如是过热引起，应查明原因并消除之
接线端子发热	（1）螺钉没拧紧，接触不良 （2）导线未处理好，表面氧化，接触不良 （3）铜铝接触氧化	导线与端子连接处应清理干净，螺钉必须拧紧，并避免铜铝接触
熔体在正常情况下熔断	（1）熔体选择不当，容量过小 （2）熔体在安装时受损伤	应停电检查熔体，并调换合适的熔体，在安装时若熔体有损伤，应及时更换

第四章　高 压 电 器

第一节　隔 离 开 关

一、概述

隔离开关的最大特点是具有明显的断开点，没有灭弧装置，故不能用来接通和切断负荷电流及短路电流。

隔离开关的主要用于隔离电源。将电气设备与带电的电源隔离，以保证被隔离的电气设备与电源之间有明显的断开点，断开点间应具有可靠的绝缘。

隔离开关可改变配电所电气设备的运行方式。在双母线的电路中，可利用隔离开关将电气设备或供电线路从一组母线切换到另一组母线上去。

隔离开关可接通或断开电压互感器、避雷器等小电流电路。

二、GN22-10 型户内隔离开关

1. 简介

GN22-10 型隔离开关为三极式结构，其接线端设计成与母线平接，以便在开关柜中与断路器联合布置。隔离开关采用两步动作的机械锁紧方式，操作力矩较小，接触压力较大。

2. 技术参数

GN22-10 型隔离开关技术参数见表 4-1。

表 4-1　GN22-10 型隔离开关的技术参数

型　号	额定电压/kV	最高工作电压/kV	额定电流/A	2s 热稳定电流/kA	动稳定电流/kA
GN22-10/1600-40	10	11.5	1600	40	100
GN22-10/2000-40	10	11.5	2000	40	100
GN22-10/3150-50	10	11.5	3150	50	125

3. 外形结构及安装尺寸

GN22-10 型隔离开关外形结构及安装尺寸见图 4-1 及表 4-2。

表 4-2　GN22-10 型隔离开关的安装尺寸　　（单位：mm）

型　号	尺　寸			
	A	*B*	*C*	*D*
GN22-10/1600-40	490	243	293	520
GN22-10/2000-40	490	243	293	520
GN22-10/3150-50	495	252.5	315	535

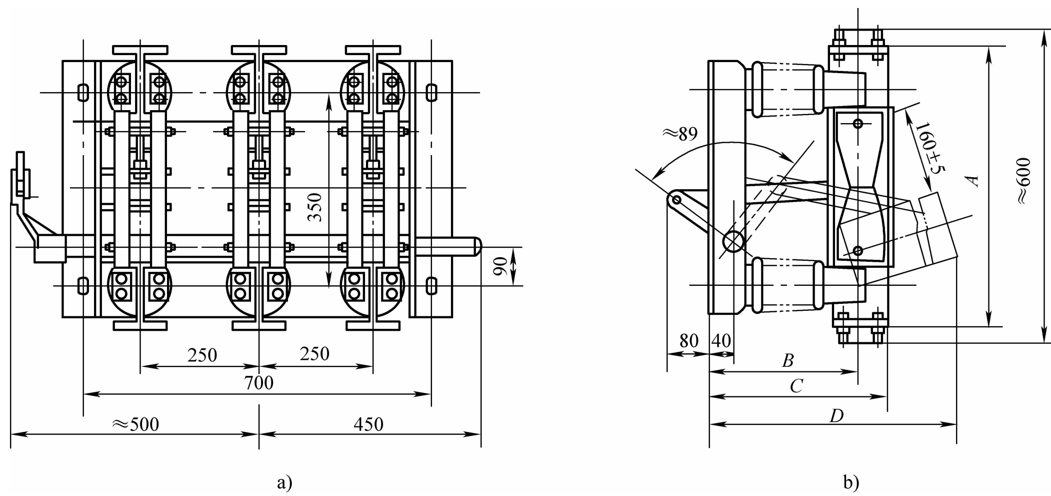


图 4-1　GN22-10 型隔离开关的外形结构及安装尺寸

a）正视图　b）侧视图

三、GW1-12 型户外隔离开关

1. 简介

GW1-12 型户外隔离开关，配用隔离开关厂商专制的手动操作机构；不接地系列开关均配 CS8-5 型手动操动机构。机构操作力矩较小，分合闸准确到位。

2. 技术参数

GW1-12 型户外隔离开关技术参数见表 4-3。

表 4-3　GW1-12 型户外隔离开关技术参数

序　　号	名　　称		技 术 参 数
1	额定电压/kV		10
2	最高工作电压/kV		12
3	额定电流/A		400,630,1250,2000,3150
4	2s 热稳定电流/kA		40,50
5	动稳定电流/kA		100,125
6	雷电冲击耐受峰值电压/kV	对地、相间	60
		隔离断口	70
7	1min 工频耐受有效值电压/kV	对地、相间	28
		隔离断口	32

3. 外形及安装尺寸

GW1-12 型隔离开关外形结构及安装如图 4-2 所示，安装尺寸见表 4-4。

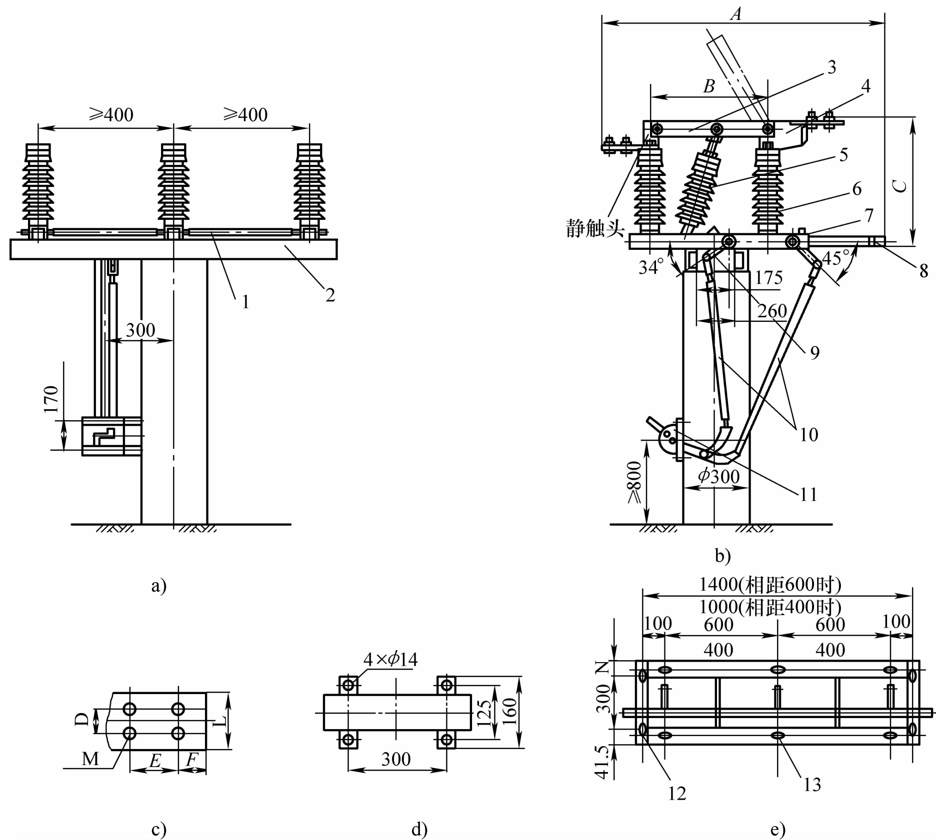


图 4-2　GW1-12 型隔离开关外形结构及安装

a）正视图　b）侧视图　c）接线端子　d）单极开关安装图　e）框架式开关安装尺寸图

1—1″镀锌钢管　2—10#槽钢　3—主触刀　4—动触头　5—拉杆瓷瓶　6—支柱瓷瓶

7—底座　8—接地闸刀　9—拐臂　10—连杆　11—CS□手动操动机构

12—ϕ18×28 基础安装孔　13—ϕ18×28 安装孔

表 4-4　GW1-12 型隔离开关安装尺寸　　（单位：mm）

符号	400A,630A	1250A	400A,630A（接地型）	1250A（接地型）	2000A	3150A
A	550	580	830	830	690	705
B	320	320	320	320	340	340
C	315	335	342	365	395	415
D	—	40	—	40	50	50
E	40	40	40	40	50	50
F	20	20	20	20	25	25
L	45	80	45	80	100	100
N	41.5	41.5	41.5	41.5	61.5	61.5
M	2—ϕ13	4—ϕ13	2—ϕ13	4—ϕ13	4—ϕ17	4—ϕ17

第二节 负 荷 开 关

一、FN16-12 系列负荷开关

1. 概述

FN16-12 系列真空负荷开关适用于交流额定电压为 6～10kV 的网络中，可开断正常负荷电流和过负荷电流，但不能切断短路电流。特别适用于无油化、少检修及要求频繁操作的场所。具有开断安全可靠、电寿命长，可频繁操作、开断电流较大、基本不需维护，且有明显的隔离断口等优点。负荷开关与熔断器配合，可以代替高压断路器。

FN16A-12D/630 型负荷开关的外形结构及安装尺寸如图 4-3 所示。

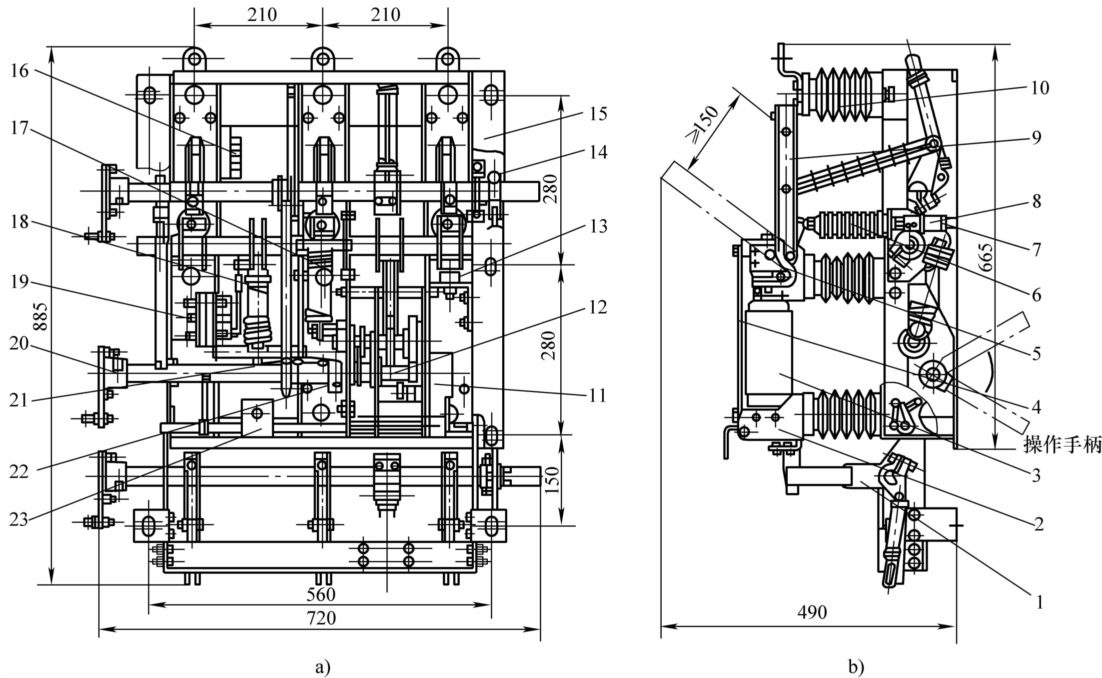


图 4-3 FN16A-12D/630 型负荷开关的外形结构及安装尺寸

a）正视图 b）侧视图

1—接地开关 2—下支架 3—真空灭弧室 4—绝缘支柱 5—上支架 6—绝缘拉杆 7—滑套 8—弹簧拉杆 9—隔离开关 10—绝缘子 11—电动机 12—操动机构 13—分闸缓冲垫 14—联锁机构 15—底架 16—接线端子 17—合闸弹簧 18—分闸弹簧 19—辅助开关 20—操作盘（正面操作时用） 21—隔离开关操作孔（背面操作时用） 22—负荷开关操作孔（背面操作时用） 23—脱扣器

2. 技术参数

FN16A-12D/630 型负荷开关的技术参数见表 4-5。

表 4-5 FN16A-12D/630 型负荷开关技术参数

序 号	名 称	参 数
1	额定电压及最高工作电压/kV	12
2	额定频率/Hz	50
3	额定电流/A	630

（续）

序　　号	名　　称	参　　数
4	额定有功负载开断电流/A	630
5	额定闭环开断电流/A	630
6	5% 额定有功负载开断电流/A	31.5
7	额定电缆充电开断电流/A	10
8	额定电容开断电流/A	400
9	额定空载变压器开断电流	1600kVA 变压器空载电流
10	1min 工频耐受电压（有效值） 对地、相间、真空断口/隔离断口/kV	42/48
11	全波雷电冲击耐受电压（峰值） 对地、相间、真空断口/隔离断口/kV	75/85
12	额定短时耐受电流（热稳定）/kA/s	20/3
13	额定峰值耐受电流（动稳定）/kA	50
14	额定短路关合电流/kA	50
15	额定电流开断次数/次	10000
16	机械寿命/次	10000
17	触头允许磨损累计厚度/mm	3
18	分合闸操作力矩（力）/N · m（N）	120（240）
19	额定合闸操作电压/电流/（V/A）	AC/DC 220/0.5
20	额定分闸操作电压/电流/（V/A）	AC/DC 220/3

二、SF□型 SF_6 负荷开关

1. 简介

SFL 型负荷开关为双断点、旋转式动触头，以 SF_6 气体为灭弧介质，动、静触头置于加强结构的模铸环氧树脂外壳中。在操作轴引出端是一个透明的热压成型的塑料端盖，透过它可以观察触头状态。

每个开关充以 0.045MPa 气压的 SF_6 气体后是永久密封的（SFL 意为“永远密封”），用氦检测器可以检查有无气体渗漏。

开关垂直或水平安装不限，在单元式柜内，典型的安装方式是在电缆室和母线室之间置一钢隔板，水平安装。这种安装方式将开关外壳封在接地的钢板范围内并将母线与电缆接头之间相隔离以符合运行维护的最严格的安全要求。

2. 技术参数

FSN 型 SF_6 负荷开关的技术参数见表 4-6。

表 4-6　FSN 型 SF_6 负荷开关的技术参数

<table>
<tr><th rowspan="2">序号</th><th rowspan="2" colspan="2">名　　称</th><th colspan="2">数　　值</th></tr>
<tr><th>FSN—12/630—20</th><th>FSRN—12/125—31.5</th></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="2">额定电压/kV</td><td colspan="2">12</td></tr>
<tr><td rowspan="3">2</td><td rowspan="3">额定绝缘水平</td><td>短时 1min 工频耐受电压/kV</td><td colspan="2">42</td></tr>
<tr><td>雷电冲击耐受电压（峰值）/kV</td><td colspan="2">75</td></tr>
<tr><td>操动机构及辅助回路 1min 工频耐受电压/V</td><td colspan="2">2000</td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="2">额定频率/Hz</td><td colspan="2">50</td></tr>
</table>

（续）

序号	名　　称	数　　值	
		FSN—12/630—20	FSRN—12/125—31.5
4	额定电流/A	630	125
5	额定有功负荷开断电流/A	630	—
6	额定闭环开断电流/A	630	—
7	额定电缆充电开断电流/A	10	—
8	额定空载变压器开断容量/kV·A	1250	
9	额定短时耐受电流/kA	20	—
10	额定短路持续时间（主回路/接地回路）/s	3/2	—
11	额定峰值耐受电流/kA	50	—
12	额定短路开断电流/kA	—	31.5
13	额定短路关合电流/kA	50	—
14	机械寿命/次	2000	
15	主回路电阻/μΩ	≤50	≤150
16	额定交接电流或额定转移电流/A	—	1700
17	额定分闸操作电压/V	AC 220，110	
		DC 220，110，48	
18	额定分闸操作电流/A	AC 1、2	
		DC 0.77，1.55，3.53	
19	储能电机额定电压/V	AC 220，110	
		DC 220，110	
20	储能电动机额定功率/W	60	
21	SF_6 气体额定压力（20℃表压）/MPa	0.045	
22	SF_6 气体年泄漏率	≤0.5%	

三、LK-LBS 型负荷开关

1. 简介

LK-LBS 组合电器是集成了隔离开关、负荷开关、接地开关、熔断器四种分立元件为一体的综合性高压电器。被安装在 HXGN-12 型成套配电柜内，适合用于工厂、企业、住宅、小区、高层建筑及矿山港口等的配电系统。环网柜起着接受、分配、控制电能及保护电器设备安全运行的作用。

2. 技术参数

LK-LBS 系列负荷开关技术参数见表 4-7。

表 4-7　LK-LBS 系列负荷开关技术参数

名　　称		单　　位	参　　数		
			LK-LBS 1	LK-LBS 2	LK-LBS 3
额定电压		kV	12		
额定电流		A	400～630～800～1000		
工频耐受电压(1min)	相间及对地	kV	42		
	断口	kV	48		
雷电冲击耐受电压	相间及对地	kV	75		
	断口	kV	85		

（续）

名　　称	单　　位	参　　数		
		LK-LBS 1	LK-LBS 2	LK-OBS 3
额定热稳定电流(2s)	kA	20		
额定动稳定电流	kA	50		
额定电缆充电电流	A	10		
额定预期短路开断电流	kA		50	
额定短路关合电流	kA	50		
额定开断转移电流	A		1550	
局部放电量	pC	≤5		
开断变压器空载电流	A	16		
接地开关 2s 短时耐受电流	kA	20		
固分时间	ms	30～40		
机械寿命	次	4000		
电器寿命	次	500		

四、LK-GLBS 型负荷开关

1. 简介

LK-GLBS 型负荷开关使用 SF_6 气体作为开关的绝缘和灭弧介质，开关的触头被装入符合 IEC 规定的压力腔室内，作为 12kV/24kV 的 SF_6 负荷开关各项指标均满足 24kV 的 IEC 标准和 12kV 的国家标准；拥有相对 12kV 的超强绝缘性能和特大的爬电距离。

LK-GLBS 型负荷开关的内部灭弧机构的动触头为直动、旋转相结合的压气式（SF_6 气体）结构，具备在零表压状态下熄灭电弧的能力，也就是可以安全开断负荷电流的能力。

2. 技术参数

LK-GLBS/AL、LK-GLBS/BL 型负荷开关的技术参数见表 4-8。

表 4-8　LK-GLBS/AL、LK-GLBS/BL 型负荷开关技术参数

项 目 名 称		单　　位	IEC 标准	国 家 标 准
额定电压		kV	7.2　12　15　17.5　24	12
额定绝缘水平	额定短时共频耐受电压（断口/对地）	kV	20　28　36　38　50	48/42
	额定雷电冲击电压（断口/对地）	kV	60　75　95　9　5　125	85/75
额定频率		Hz	50/60	50/60
额定电流		A	630　630　630　630　630	630
额定短时耐受定流 I_k	对于 $t_k=1s$ 的系统	最高至 kA	25　25　25　25　25	25
	对于 $t_k=3s$ 的系统（可选）	kA	20　20　20　20　20	20
承受短路电流 I_d 的额定峰值电流		最高至 kA	50　50　50　50　50	50
额定短路关合电流 I_{ma}		最高至 kA	50　50　50　50　50	50
电气寿命		次	500	
机械寿命		次	5000	

（续）

项目名称		单　　位	IEC 标准	国家标准
环境温度 T	无二次设备的柜体		-40～70℃	
	有二次设备的柜体		-5～55℃	
在20℃时的额定冲气压力、绝缘压力和冲气压力			0.03MPa	

第三节　RL27 型 SF_6 柱上负荷开关

一、概述

MERLIN GERIN（梅兰日兰）RL27 型柱上 SF_6 气体绝缘的负荷开关，额定电压 15kV，额定电流为 630A，额定开断短路电流为 12.5kA、16kA、20kA。负荷开关可手动或自动操作。自动方式可分为遥控负荷开关或分段器。RL27 型自动负荷开关，不仅具备传统负荷开关和分段器的特性，而且还具备现代技术最佳设计的配网自动化、遥控及监测的优点。

二、技术参数

RL27 型 SF_6 柱上负荷开关技术参数见表 4-9。

表 4-9　RL27 型 SF_6 柱上负荷开关技术参数

序　号	名　称	技术参数		
	额定值			
1	最高系统电压/kV	15	15	15
2	额定连续电流/A	630	630	630
3	故障关合电流(有效值)/kA	12.5	16	20
4	故障关合电流(峰值)/kA	31.5	40	50
5	机械操作次数/次	3000	3000	3000
6	额定满负荷操作/次	600	600	600
7	热稳定电流 kA/s	12.5/4	16/4	20/3
8	SF_6 气体工作压力/MPa(20℃时表压)	0.1	0.1	0.1
	开断能力			
9	开断有功负荷电流(功率因数 0.7)/A	630	630	630
10	开断电缆充电电流/A	25	25	25
11	开断变压器励磁电流/A	22	22	22
	冲击耐压			
12	相对相/kV	110	110	110
13	相对地/kV	110	110	110
14	断口/kV	125	125	125
	工频耐压			
15	相对相/kV	42	42	42
16	相对地/kV	42	42	42
17	断口/kV	48	48	48
	工作环境			

（续）

序　　号	名　　称	技 术 参 数		
18	工作环境温度/℃	−40 ~ +50	−40 ~ +50	−40 ~ +50
19	工作环境阳光辐射（最大）kW/m^2	1.1	1.1	1.1
20	工作环境湿度（%）	0 ~ 100	0 ~ 100	0 ~ 100
21	工作环境海拔（最高）/m	3000	3000	3000

三、主要特点

RL27 型柱上 SF_6 负荷开关具有以下特点：

1）高压信号经电路的模拟前沿连接到电子模件，具有扩展范围的专用电流互感器可提供从 10 ~ 16000A 范围内的电流测量和故障检测。嵌入套管的电压互感器可提供一次端电压的精确值和相位关系，使电子模件可测量电压，电流和相角。

2）每一台负荷开关、分段器都配有带四行液晶显示屏的操作控制面板，并有底光，以方便夜间操作。用户通过操作控制面板就可对许多测量和故障检测功能进行编程。

3）进行分闸、合闸及显示系统设置的基本操作。

①分段器的设置和故障历史；

②线路测量和历史数据；

③报警状态，例如：辅助电源故障，蓄电池故障；气体泄漏；线路带电；遥控/本地。

四、主要功能

1. 电压测量

所有六端口电压有效值。通过与预置的门坎电压比较，指示带电终端，准确度为 ±2.5%。

2. 电流测量

三相电流的有效值（读数在 10 ~ 16000A 范围时，准确度为 ±2.5%），有功功率（有方向）。

由实时电压与电流的乘积在两秒内的平均值确定，当电压和电流在上述准确度范围内时，准确度为 ±5%。

3. 功率因数测量

由线电压和线电流的相位关系，以及前面计算的有功功率确定，当电压和电流在上述精度范围内时，准确度为 ±5%。

4. 测量值的历史数据

电量（kW · h）以 5min、15min、30min 或 60min 的间隔积分计算，至少可存储 2 个月的数据。这些数值可从操作控制面板、或计算机、或兼容的 SCADA 系统看到。此外，数据还可以上传到便携式计算机或兼容的 SCADA 系统。

5. 设置测量值的历史数据

用视窗开关操作系统（WSOS），可根据需要设置平均需求量的测量记录。由用户自己设置的好处是可以只记录所需参数，忽略不记无用的参数。

6. 事件历史

可储存典型事件的最小值为 3000 个事件。

7. 气体压力测量

气体压力显示分辨率：1kPa。

气体压力显示准确度：±5kPa。

低气压报警设置：20℃时，15kPa 表压。

低气压报警准确度：±5kPa。

8. 相间故障检测

相间故障检测功能监视所有三相故障，并生成故障检测记录。

相间故障检测范围：10～1260A。

相间故障检测分辨率：1A。

检测时间：0.05～10s。

时间分辨率：0.1s。

9. 接地故障检测

接地故障检测功能监视接地故障，并生成故障检测记录。

接地故障检测范围：10～1260A。

接地故障检测分辨率：1A。

检测时间：0.05～10s。

时间分辨率：0.1s。

10. 灵敏接地故障检测

灵敏接地故障（SEF）检测功能监视所有三相故障，并生成故障检测记录。

灵敏接地故障检测范围：4～20A。

灵敏接地故障检测时间：0.1～100s。

灵敏接地故障电流分辨率：1A。

11. 冷负荷启动

停电一段时间后，冷负载启动功能可自动补偿线路负荷多样性损失。

冷负荷倍率范围：1～5。

冷负荷倍率分辨率：0.1。

时间常数范围：1～480min。

时间常数分辨率：1min。

12. 浪涌抑制

浪涌抑制的作用是当带负荷合闸时，短时间地升高相间和接地门限电流使浪涌流过。

倍率范围：1～30。

倍率分辨率：0.1。

时间范围：0.05～30s。

时间分辨率：0.05s。

13. 负荷侧带电闭锁功能

负荷侧带电闭锁是一个附加的检测功能，其运行独立于其他检测功能。

确定负荷侧带电的门限电压范围：2～15kV。

14. 多组检测定值

CAPM 可支持多达 10 个完全独立的检测组，各检测组可有不同的反时限检测曲线和设置电流。操作员可用视窗开关操作系统设置现有的检测组，限制或选择所需的检测组。

15. 相间电流设置

相间电流设置范围：10～1260A。

分辨率：1A。

16. 接地电流设置

接地电流设置范围：10～1260A。

分辨率：1A。

17. 故障计数

故障计数范围：1～10 次。

18. 顺序复归时间

顺序复归计数器用于对停电次数计数器清零，使下次停电又从一开始计数。

顺序复归时间范围：5～180s。

分辨率：1s。

五、外形结构及安装尺寸

RL27 型 SF_6 柱上负荷开关外形结构及安装尺寸如图 4-4 所示。

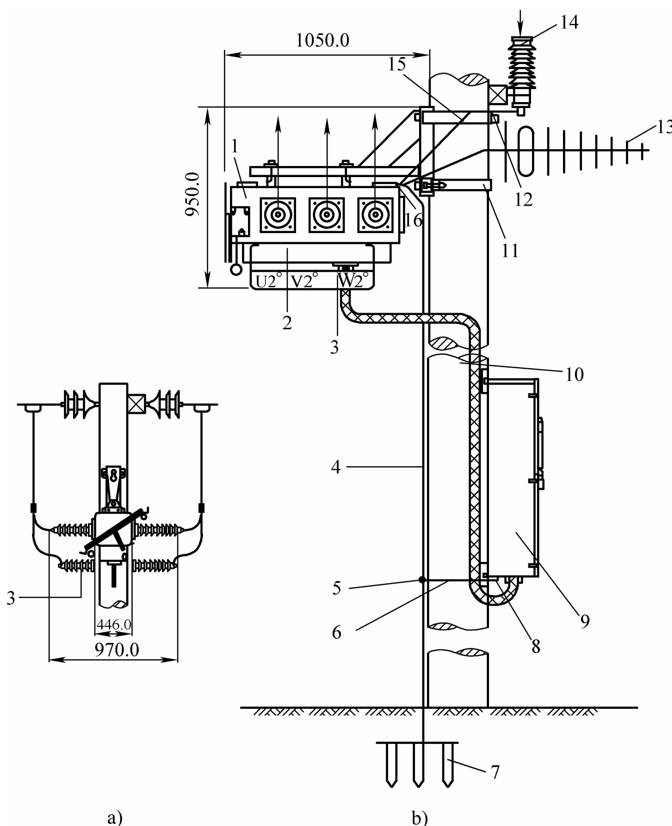


图 4-4　RL27 型 SF_6 柱上负荷开关外形结构及安装尺寸

a）正视图　b）侧视图

1—负荷开关本体　2—电动机　3—避雷器安装架（选件）　4—所有设备的公共接地线　5—T 形接点　6—控制箱接地线　7—接地板　8—控制箱接地螺栓　9—控制箱　10—控制电缆　11、12—固定抱箍　13—天线　14—避雷器　15—避雷器与负荷开关外壳接地线　16—负荷开关本体接地螺栓

第四节 真空断路器

一、概述

10kV 级真空断路器，可以装于户内各种高压开关设置作为通、断电源的主开关用。它有体积小、维护方便、断流能力强等优点，尤其适用于频繁操作及故障较多的场合，例如投切高压电容器组、控制电炉变压器、整流变压器、通断高压电动机等。

真空断路器采用封闭绝缘形式，主绝缘筒加内外裙边，其爬电比距都达到了 DL 标准要求，该产品具有体积小、绝缘可靠、无污染、无爆炸、性能稳定、技术参数高、维护周期长等显著优点。

断路器配用 ZMD14-10 系列中封式陶瓷或玻璃真空灭弧室，其铜铬触头具有环状纵磁场触头结构，开断能力强，截流水平低电寿命长。

机构与本体前后布置成一整体，传动效率高，操作性能好，适用于频繁操作，可装于移开式或固定式开关柜。

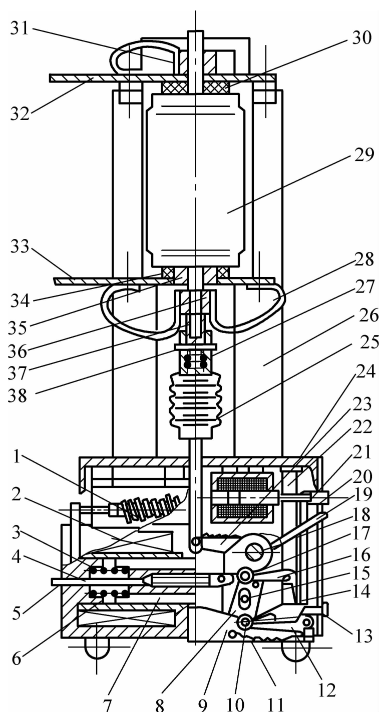


图 4-5 ZN-10 型真空断路器结构图
1—分闸弹簧 2—合闸线圈 3—复位弹簧 4—静铁心 5—拉杆 6—导套 7—合闸动铁心 8—抬杠 9—支架 10—滚子 11—拉簧 12—掣子 13—调节螺钉 14—拉簧 15—轴销 16—掣子 17—滚子 18—主轴 19—合闸手柄 20—分闸按钮 21—分闸摇臂 22—分闸电磁铁 23—主轴拐臂 24—底座 25—绝缘子 26—绝缘支架 27—触头弹簧 28—软连接 29—真空灭弧室 30—橡胶垫 31—上导电夹 32—上连接片 33—下连接片 34—橡胶垫 35—导套 36—下导电夹 37—连接头 38—带孔销

二、真空断路器的结构

真空断路器一般均采用整体式结构，由一次电气部分、操动机构和底座等部分组成。断路器的电气部分由绝缘骨架，上、下出线导电夹，真空灭弧室，软连接线或滚动式连接及绝缘子等组成；操动机构由箱体，储能系统，传动系统、分、合闸保持与释放装置及二次控制系统组成；底座则用于将电气部分和操动机构相连接并固定于开关柜内。ZN-10 型真空断路器结构图如图 4-5 所示。

ZN28A-10 型真空断路器外形结构如图 4-6 所示。

VEP 真空断路器结构如图 4-7 所示。

三、真空灭弧室的结构及工作原理

真空灭弧室在断路器分闸时起灭弧作用，在分闸后形成断口，其结构如图 4-8 所示。灭弧室的主要零件有静触头，动静头，静、动导电杆，波纹管绝缘柱，屏蔽罩，玻璃（或陶瓷）外壳，支撑法兰等，经过特殊工艺将这些零件封装在玻璃（或陶瓷）外壳内，该外壳不仅形成一个高真空度室，还起到绝缘作用，而波纹管是个动态密封的弹性元件，它随同动导电杆的向下和向上移动完成断路器的分、合闸，操作时不应损坏，从而保持了灭弧室的高真空度。

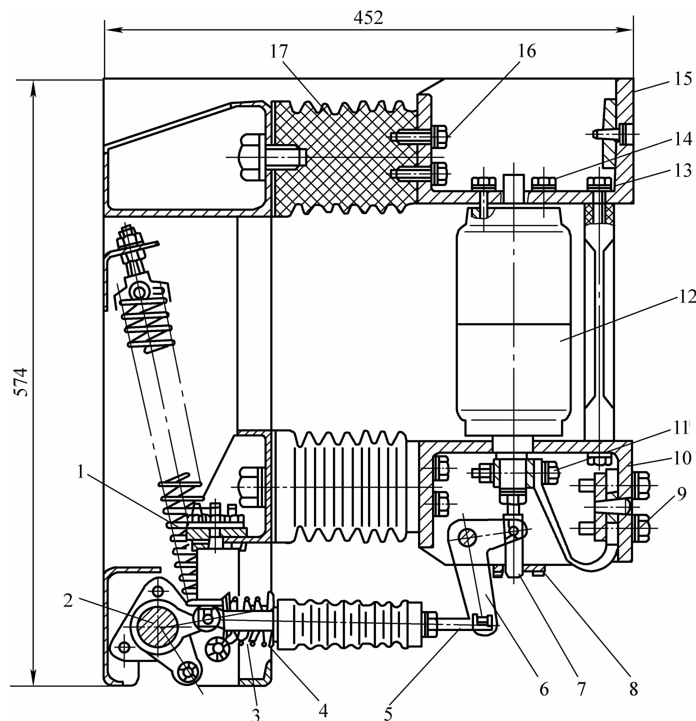


图 4-6　ZN28A-10 型真空断路器外形结构

1—开距调整片　2—主轴　3—触头压力弹簧　4—弹簧座　5—接触行程调整螺栓　6—拐臂　7—导杆　8—导向板　9—螺钉　10—动支架　11—导电夹紧固螺栓　12—真空灭弧室　13—绝缘子固定螺栓　14—真空灭弧室紧固螺栓　15—静支架　16—绝缘子固定螺栓　17—绝缘子

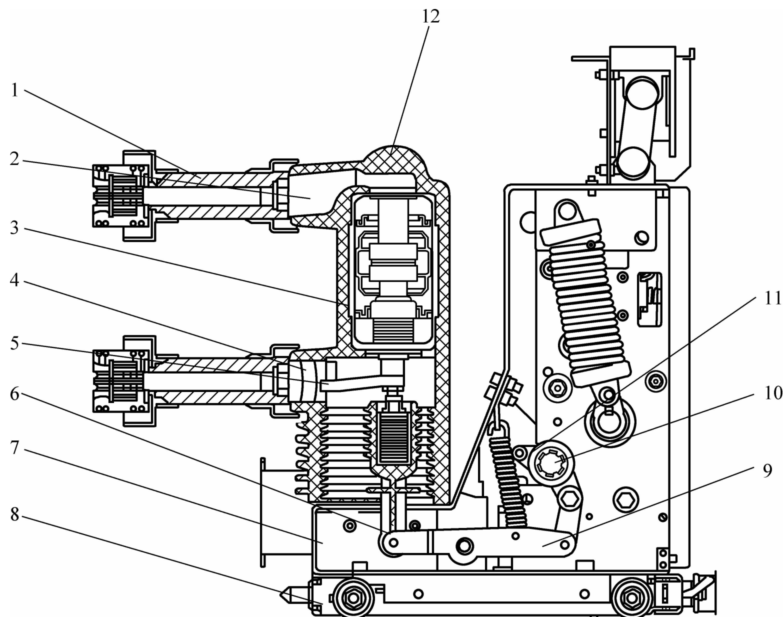


图 4-7　VEP 真空断路器结构

1—触臂组件　2—上接线端子　3—真空灭弧室　4—下接线端子　5—软联接　6—绝缘拉杆　7—断路器框架　8—底盘车　9—连杆机构　10—主轴　11—分闸弹簧　12—极柱部分

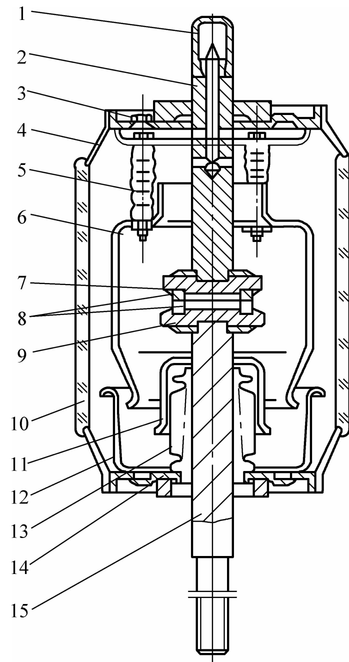


图 4-8　ZN-10 型真空灭弧室结构图

1—外保护帽　2—静导电杆　3—静端盖板　4—可伐环　5—瓷柱　6—屏蔽筒
7—静跑弧面　8—触头　9—动跑弧面　10—玻壳　11—保护罩　12—屏蔽罩
13—波纹管　14—动端盖板　15—动导电杆

其工作原理为：通过特殊结构的动、静触头在高真空度的灭弧室内闭合与分开，来达到关合与分断线路电流的目的。由于灭弧室内高度的真空［残留有压强低于 1333～532Pa（10～4mmHg）的稀薄气体］具有很高的绝缘强度，因而在分闸位置仅需很小的触头开距，如 12kV，真空灭弧室中一般 8～10mm（有些产品标明只需 6～10mm）就能满足绝缘的要求。当断路器的回路中通有电流时，在接到分闸信号后，操动机构带动动导电杆向下运动，使动触头离开静触头，其时在动、静触头分离瞬间产生电弧，电弧燃烧过程中产生的带电粒子和金属蒸气在真空中很快扩散，并为屏蔽罩所冷凝，当电弧电流过零时触头断口间的介质强度就很快恢复，完成了断流分闸过程。

四、技术参数

真空断路器的技术参数见表 4-10 和表 4-11。

表 4-10　ZN28□户内真空断路器技术数据

项　　目	ZN28□-10/ 1000-20 1250-20	ZN28□-10/ 1250-25	ZN28□-10/ 1250-31.5 1600-31.5 2000-31.5	ZN28□-10/ 2000-40 2500-40 3150-40
额定电压/kV	3		6	10
最高工作电压/kV	3.6		7.2	12
额定频率/Hz	50			

（续）

项　　目			ZN28□-10/ 1000-20 1250-20	ZN28□-10/ 1250-25	ZN28□-10/ 1250-31.5 1600-31.5 2000-31.5	ZN28□-10/ 2000-40 2500-40 3150-40
额定电流/A		开关柜	630,1000,1250,1600,2000,2500(3150)			
		断路器	1000,1250,1600,2000,2500,3150			
额定开断电流/kA			20	25	31.5	40
额定关合电流(峰值)/kA			50	63	80	100
额定动稳定电流(峰值)/kA			50	63	80	100
额定热稳定电流(有效值)/kA			20	25	31.5	40
额定热稳定时间/s			4			
操作顺序			分—0.3s—合分—180s—合分			
一次母线额定热稳定电流/kA			31.5			40
极间中心距/mm			210			275
开合电容组		单个电容组/A	630			
		背对背电容组/A	400			
绝缘水平	1min 工频耐压/kV	相间相对地	42			
		断口间	48			
	雷电冲击耐压/kV	相间相对地	75			
		断口间	84			
额定短路电流开断次数			50			20,30
机械寿命/次			10000			
防护等级			IP4X			
配用机构			CT17、CT18、CT19 弹簧储能操动机构			

表 4-11　VS1、VD4 户内真空断路器技术数据

项　　目		数　　据			
		VS1-12/630 -20-25 (VD4)	VS1-12/1250 -25-31.5 (VD4)	VS1-12/1600 -31.5/2000-40 (VD4)	VS1-12/2000 -2500-40/ 3150-50(VD4)
额定电压/kV		12			
额定频率/Hz		50			
额定电流/A	开关柜	630	1250	1600 2000	2500 3150
	断路器	630	1250	1600 2000	2500 3150

（续）

项　　目	数　　据			
	VS1-12/630-20-25（VD4）	VS1-12/1250-25-31.5（VD4）	VS1-12/1600-31.5/2000-40（VD4）	VS1-12/2000-2500-40/3150-50（VD4）
额定开断电流/kA	20 25	25 31.5	31.5 40	40 50
额定关合电流/kA	50	63 80	80 100	100 125
额定动稳定电流/kA	50	63 80	80 100	100 125
额定热稳定电流/kA	20 25	25 31.5	31.5 40	40 50
额定热稳定时间/s	4			
一次母线额定热稳定电流/kA	25	31.5	40	50
额定操作顺序	分—0.3s—合分—180s—合分		分—180s—合分—180s—合分	
绝缘水平 1min 工频耐压/kV 相间、相对地	42			
绝缘水平 1min 工频耐压/kV 断口间	48			
绝缘水平 雷电冲击耐压/kV 相间、相对地	75			
绝缘水平 雷电冲击耐压/kV 断口间	84			
额定短路电流开断次数	50		20	
机械寿命/次 断路器，机构	20000			
机械寿命/次 隔离开关，接地开关	各 2000			
防护等级	IP4X			
额定操作电压/V 合闸线圈、分闸线圈	DC/AC 220、110/220、110			
线圈功率/W 合闸线圈、分闸线圈	245			
储能电动机功率/W	50			
储能电动机额定电压/V	DC 220/110			
储能时间/s	≤10			
配用机构	弹簧操动机构			

五、电气控制接线

1. VD4 型真空断路器

（1） 控制接线

在 KYN28-12 系列 10kV 开关柜中，VD4 型手车式真空断路器电气控制接线如图 4-9 所示。

VD 型真空断路器储能电动机操动机构的电气控制接线如图 4-10 所示。

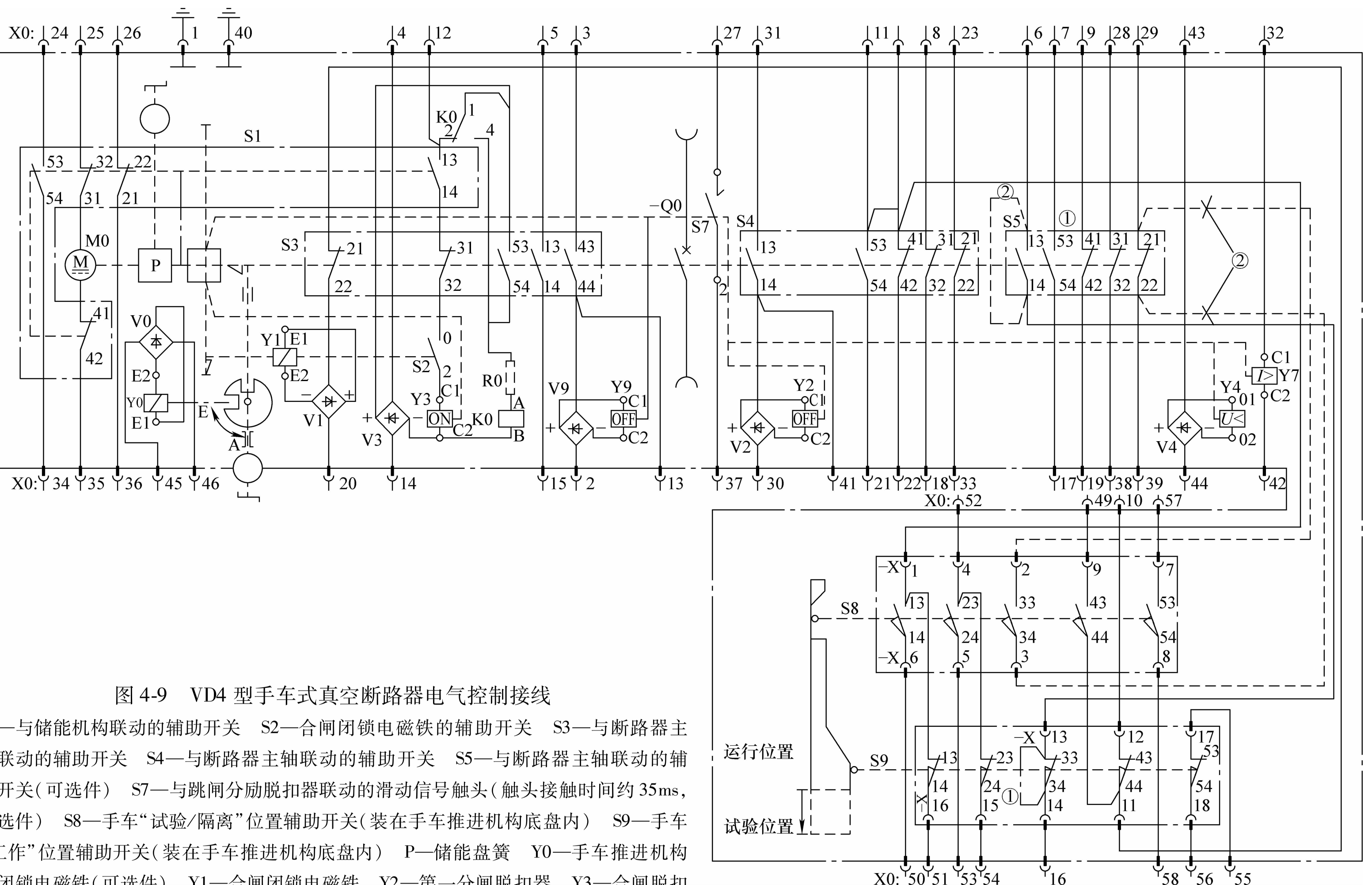


图 4-9 VD4 型手车式真空断路器电气控制接线

S1—与储能机构联动的辅助开关 S2—合闸闭锁电磁铁的辅助开关 S3—与断路器主轴联动的辅助开关 S4—与断路器主轴联动的辅助开关 S5—与断路器主轴联动的辅助开关(可选件) S7—与跳闸分励脱扣器联动的滑动信号触头(触头接触时间约 35ms，可选件) S8—手车“试验/隔离”位置辅助开关(装在手车推进机构底盘内) S9—手车“工作”位置辅助开关(装在手车推进机构底盘内) P—储能盘簧 Y0—手车推进机构的闭锁电磁铁(可选件) Y1—合闸闭锁电磁铁 Y2—第一分闸脱扣器 Y3—合闸脱扣器 Y4—低电压脱扣器(可选件) Y7—间接式过电流脱扣器(可选件) Y9—第二分闸脱扣器(可选件) V0—用于 Y0 的整流器件(可选件) V1 ~ V4、V9—用于各线圈的整流器件 M—弹簧操动机构的储能电动机 K0—机构同步防跳跃继电器

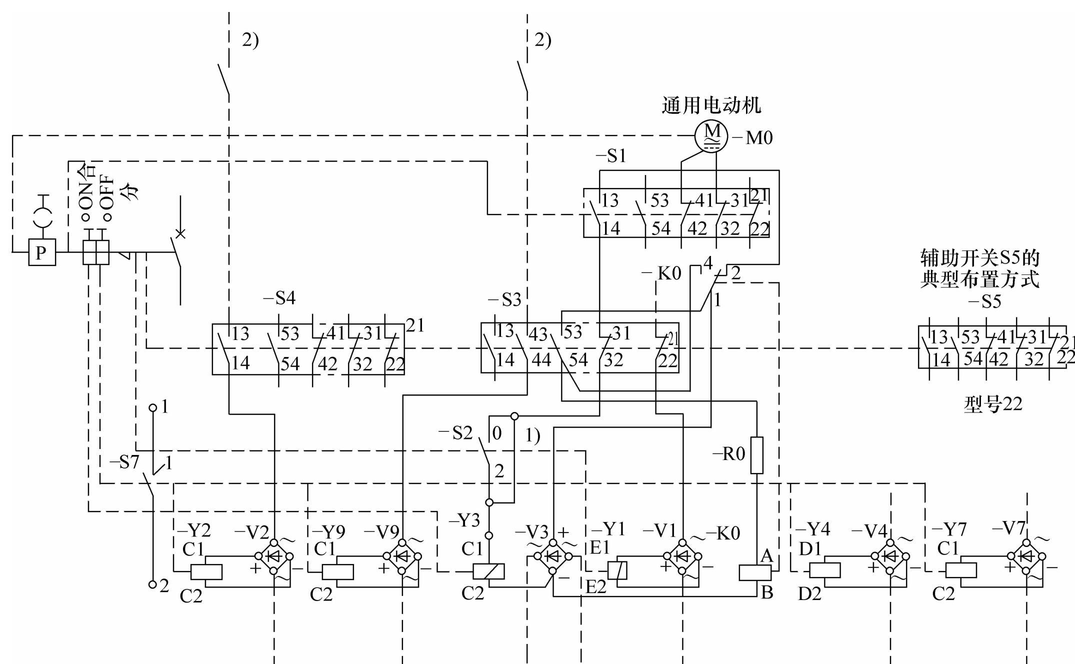


图 4-10　VD4 型真空断路器储能电动机操动机构的电气控制接线

S1—操动机构的辅助开关　S2—闭锁电磁铁的辅助开关　S3—装在断路器的主轴上的辅助开关　S4—装在断路器主轴上的辅助开关　S5—装在断路器主轴上的辅助开关　S7—用于电气分闸信号的辅助开关（接点接触时间≥300ms）　P—储能弹簧　Y1—闭锁电磁铁　Y2—分闸脱扣器　Y3—合闸释能电磁铁　Y4—低电压脱扣器　Y7—间接式过电流脱扣器　Y9—第二级分闸脱扣器　V1—Y1 用的整流元件　V2—Y2 用的整流元件　V3—Y3 与 K0 用的整流元件　V4—Y4 用的整流元件　V7—Y7 用的整流元件　V9—Y9 用的整流元件　M0—弹簧操动机构的储能电动机　K0—防跳继电器　R0—串联电阻器

在图 4-9 中 S1 显示机构处于未储能及分闸状态，手车处于工作位置。有辅助开关 S5 时，按点画线①接入；无 S5 时，按虚线②接入。手车内部控制线路主要由合闸闭锁电磁铁 Y1、第一分闸脱扣器 Y2、合闸脱扣器 Y3、低压脱扣器 Y4、间接过电流脱扣器 Y7、第 2 分闸脱扣器 Y9、手车闭锁电磁铁 Y0，而 Y1、Y2、Y3、Y4、Y7、Y9、Y0 均为直流电源，并且分别配有单相桥式整流器 V1、V2、V3、V4、V7、V9、V0，辅助开关 S1、S2、S3、S4、

S5，限位开关 S8（试验位置）、S9（工作位置），电气分闸信号的辅助开关 S7（≥30ms），防跳继电器 K0，储能电动机 M0，58 针孔的航空飞机用插座等元件组成。

（2）各组成元件的基本作用

1）合闸闭锁电磁铁 Y1 闭锁合闸线路。在合闸操作瞬间，如果有短路或过载信号到来，在防跳继电器 K0 和合闸闭锁电磁铁 Y1 的作用下，使断路器跳闸，并且断开合闸电路，防止二次重合闸。

第一分闸脱扣器 Y2、第 2 分闸脱扣器 Y9 远控或近控分闸，过电流或速断跳闸。

2）合闸释能脱扣器 Y3 弹簧释能，断路器合闸。

3）欠电压脱扣器 Y4 失电压断路器跳闸。

4）间接过流脱扣器 Y7 过电流断路器跳闸。

5）手车闭锁电磁铁 Y0 联锁电路，只有联锁环节符合要求时断路器才能合闸。例如，系统供电时只有隔离柜、电压互感器柜、计量柜均处工作位置时断路器才能合闸，如果有母联开关时，母联开关必须是在断开状态时，主电源断路器才能合闸，这些条件的制约都是由 Y0 来完成的。

6）储能电动机 M0 驱动弹簧储能。

7）断路器辅助开关 S1～S5 如图 4-10 所示。辅助开关 S1～S5 的动合触头、动断触头的状态是和断路器主触头的状态是一致的，其状态反应了断路器的工作状态。

S1～S5 的动合触头、动断触头接于控制回路，可以用作断路器合闸、分闸的互锁环节，用作信号回路可以指示断路器的工作状态。

在图 4-10 中，辅助开关 S5 可以根据需要换用不同规格型号的，如，型号 19 有 5 对动合触头，型号 20 有 4 对动合触头、1 对动断触头，型号 21 有 3 对动合触头、2 对动断触头，型号 22 有 2 对动合触头、3 对动断触头，型号 23 有 1 对动合触头、4 对动断触头，型号 24 有 5 对动断触头。

8）电气分闸信号的辅助开关 S7 串入分闸信号回路，显示断路分闸状态。

9）限位开关 S8 为微动开关，装于手车的试验位置（即断路器主触头为断开状态，二次控制回路接点为接通状态），当手车处于试验位置时，S8 的动合触头接通、动断触头断开，动合触头接通为合闸做好准备，手车在试验位置时，可以对断路器进行合、分闸操作试验，但此时，显然断路器合闸主回路是不通的。

10）限位开关 S9 为微动开关。装于手车的工作位置（即断路器合闸后，一次系统、二次系统都各为接通的），当手车处于工作位置时，S9 的动断触头接通，动断接通为断路器合闸做好准备或为其他开关柜提供联锁环节。

（3）58 针孔飞机航空插座的连接

手车内部各元件需要和外部联系的均接向 58 针孔插座，如图 4-9 所示。外部元器件需要和内部联系的均接向 58 针孔插头。手车在工作位置或试验位置，插头和插座是接在一起的，插头上有带螺扣的锁紧装置，插好后可以用锁紧装置把插头和插座固定牢靠。

手车内部元件在 58 针孔插座上的位置如下：

1——接地。

2，3——整流器 V9 的 AC 电源。

2，13——整流器 V9 的 AC 电源。

4，14——整流器 V3 的 AC 电源。

5，15——辅助开关 S3 的动合触头（13，14）的引出点。

6，13，16——辅助开关 S5 的动合触头（13，14）和工作位置开关 S9 的动断触头（33，34）串联后的引出点。

7，17——辅助开关 S5 的动合触头（53，54）的引出点。

8，18——辅助开关 S4 的动断触头（31，32）的引出点。

9，19——辅助开关 S5 的动断触头（41，42）的引出点。

10，20——位置开关 S9 动合触头（43，44）和辅助开关 S3 动断触头（21，22）、单相桥式整流器 V1、电源 AC 串联后的引出点。

11，21——辅助开关 S4 的动合触头（53，54）的引出点。

11，22——辅助开关 S4 的动断触头（41，42）的引出点。

23，33——辅助开关 S4 的动断触头（21，22）的引出点。

24，34——辅助开关 S1 的动合触头（53，54）的引出点。

25，35——储能电机 M0 电源的输入点。

26，36——辅助开关 S1 的动断触头（21，22）的引出点。

27，37——电气分闸信号的辅助开关 S7 的动合触头（1，2）的引出点。

28，38——辅助开关 S5 的动断触头（31，32）的引出点。

29，39——辅助开关 S5 的动断触头（21，22）的引出点。

30，31——单相桥式整流器 V2 的 AC 电源。

30，41——单相桥式整流器 V2 的 AC 电源。

32，42——间接过流脱扣器 Y7 的引出点。

40——接地。

43，44——单相整流器 V4 的 AC 电源。

45，46——单相整流器 V0 的 AC 电源。

47——备用。

48——备用。

49，20——位置开关 S8 的动合触头（43，44）、辅助开关 S3 的动断触头（21，22）和单相桥式整流电源 V1 串联后的引出点。

50，51——位置开关 S8 的动合触头（13，14）和位置开关 S9 的动断触头（13，14）串联后的引出点。

52，53——位置开关 S8 的动合触头（23，24）的引出点。

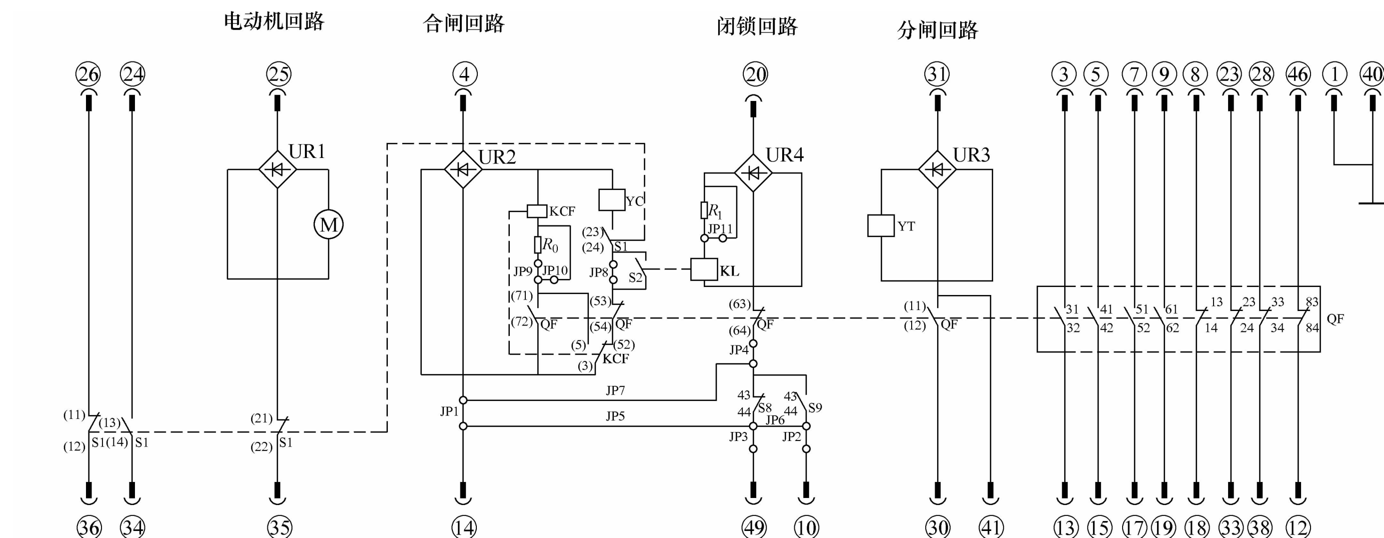
52，54——位置开关 S8 的动合触头（23，24）的引出点。

55，56——位置开关 S9 的动断触头（53，54）的引出点。

57，58——位置开关 S8 的动合触头（53，54）的引出点。

2. VS1 型真空断路器

VS1 型手车式真空断路器电气控制接线如图 4-11 所示。



过电流脱扣(A相) 过电流脱扣(C相) 过电流脱扣(B相)

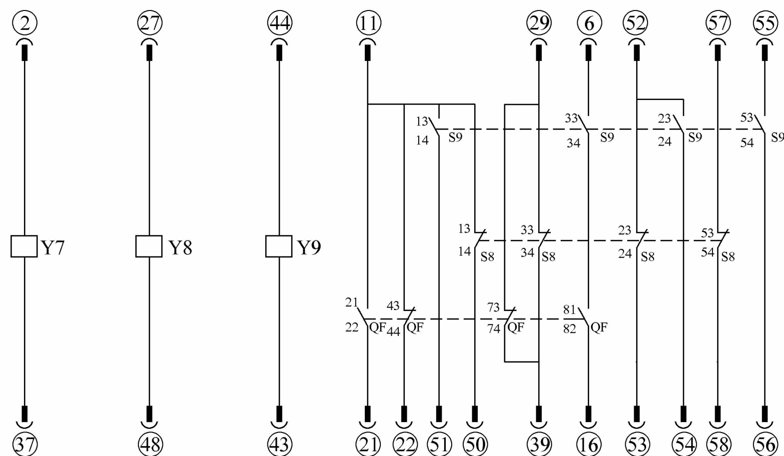


图 4-11　VS1 型手车式真空断路器电气控制接线

S9—辅助开关（当开关在工作位置时切换）　S8—辅助开关（当开关在试验位置时切换）　S2—辅助开关　S1—辅助开关（合闸弹簧蓄能后切换）　QF—辅助开关（分合操作时切换）　YC—合闸线圈　YT—分闸线圈　R_0、R_1—电阻　Y7—A 相间接式过电流脱扣线圈　Y8—C 相间接式过电流脱扣线圈　Y9—B 相间接式过电流脱扣线圈（可选）　Y1—闭锁线圈（可选）　UR1～UR4—整流器　M—储能电动机　JP1～JP11—跳线　KCF—防跳继电器（可选）

第五节　LN2-10 型 SF_6 断路器

一、SF_6 断路器的特点

SF_6 气体是一种优良的灭弧介质和绝缘介质，是无色、无臭、无毒的惰性气体，其沸点是-62℃，工作温度可达150℃，密度是空气的5.1 倍。在均匀电场和相同条件下，SF_6 的绝缘强度为空气的2.5~3 倍。在0.3MPa 压力下，SF_6 的绝缘强度与变压器油的绝缘强度相同。因此，SF_6 气体用作绝缘介质时，可使电气设备的外形尺寸大大缩小；SF_6 气体用作灭弧介质时，由于其弧柱的电导率高、燃弧电压低、弧柱能量小，对触头烧损就小。而且电弧燃烧时 SF_6 气体分解出的少量低硫分解物在电弧熄灭后，能在很短时间（10~6s）内重新结合成 SF_6，使触头间的绝缘强度很快恢复（其恢复速度比空气要快100 倍），因此，SF_6 气体的灭弧性很好。

SF_6 断路器的灭弧原理都是利用其有一定压力的气流吹动电弧，使其迅速冷却，当电弧电流过零时熄灭电弧，同时 SF_6 气体能迅速恢复绝缘强度的特性，在断口间不使电弧重燃而达到切断电流的目的。

SF_6 断路器与其他断路器比，有以下优点：

1）断口耐压高。

2）允许的开断次数多，检修周期长。

3）开断电流大，灭弧时间短。

4）操作时噪声小，寿命长。

但也有缺点，具体如下：

1）SF_6 气体密度比空气大，假如 SF_6 开关设备泄漏，SF_6 气体会沉积在电缆沟等低洼处，很难清除，气体积聚多了会引起工作人员发生窒息事故。

2）在电弧作用下，SF_6 气体分解的低氟化物气体有毒。

3）SF_6 气体在高温下与铜、钨等金属生成粉末状的金属氟化物，碰到人体的皮肤可能引起过敏。

4）如断路器密封不良还会引起水分或潮气浸入内部，水分遇到低氟化分解物会产生氢氟酸，氢氟酸有毒性且会腐蚀材料；当内部水分达到一定量时还会在绝缘件表面结露而影响绝缘强度，甚至会产生沿面放电。

所以 SF_6 断路器不仅本身制造工艺要求高，其内部还须加装吸附装置吸收有毒气体，箱体加装压力表及外附报警装置，检修断路器还须配置特殊的 SF_6 气体回收、补气等装置，导致价格贵。因此，在10kV 配电装置中，首选真空断路器，很少采用 SF_6 断路器。

二、技术参数

LN2-10 型断路器主要技术参数见表4-12。

表4-12　LN2-10 型断路器主要技术参数

序号	名　　称	单位	数据
1	额定电压	kV	10
2	最高工作电压	kV	12

（续）

序号	名　　称			单位	数据
3	额定电流			A	1250
4	额定开断电流			kA	25
5	额定关合电流（峰值）			kA	63
6	动稳定电流（峰值）			kA	63
7	热稳定电流			kA	25
8	热稳定时间			s	4
9	额定失步开断电流			kA	6.5
10	电寿命	开断额定电流（1250A）		次	2000
		开断额定开断电流（25kA）		次	10
11	机械寿命			次	10000
12	合闸时间	当操作电压为	最低	s	≤0.15
			最低、额定、最高		≤0.1
13	分闸时间		额定、最高		≤0.06
14	SF_6 额定气压 20℃（表压）			MPa	0.55
15	闭锁压力 20℃（表压）			MPa	0.5
16	年漏气率				≤19
17	水分含量			$\times 10^{-6}$	150（体积）

三、LN2-10 型 SF_6 断路器的结构

LN2-10 型断路器结构如图 4-12 所示。三相均装于同一个座箱上，内部通过座箱相通，座箱内有一根三相连动轴，通过 3 个主拐臂和 3 个绝缘杆分别操动三相导电杆，每相有上、下两个绝缘筒分别构成断口和对地的外绝缘，内绝缘则靠 SF_6 气体，底箱上还有两个自封阀，其中一个供充放气用，另一个供安装电接点真空压力表。

导电回路包括上接线座 9、静触指 10、弧触指 2、动触头（包括导电杆）4、导电杆下接线座 11 等。

LN2-10 型断路器采用了旋弧纵吹式和压气式相结合的灭弧方式，当断路器分闸时电弧随着动导电杆下移，从弧触指转移到环形电极时，电弧电流通过环形电极和旋弧线圈产生一附加磁场，该磁场与电弧电流相互作用使电弧旋转，同时电弧燃烧时加热周围 SF_6 气体，使气体压力升高，在喷口形成高速气流吹向电弧，使电弧迅速冷却，当电弧在电流过零时因断口间绝缘很快恢复而熄灭。

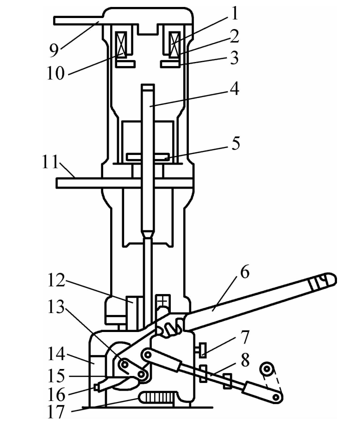


图 4-12　LN2-10 型 SF_6 断路器单相结构示意图

1—线圈　2—弧触指　3—环形电极　4—动触头　5—助吹装置　6—分闸弹　7—自封阀盖　8—推杆　9—上接线座　10—静触指　11—下接线座　12—吸附器　13—主轴　14—分闸缓冲　15—主拐臂　16—拐臂　17—合闸缓冲

第六节　隔离开关操动机构

一、CS9-G 型手力操动机构

1. 简介

CS9-G 型手力操动机构为蜗轮式结构。主要配用于 GW□系列户外隔离开关及接地开关。

该机构的主轴转角有 180°、100°两种。每种又分为不带辅助开关、带辅助开关、带电磁锁及辅助开关三种。辅助开关具有 4 对动合触头和 4 对动断触头。所附装电磁锁为 DSW1-Ⅱ型，控制电压有交流 220V、直流 110、220V。

CS9-G 型手力操动机构特性见表 4-13。

表 4-13 CS9-G 型手力操动机构特性

分类	G1	G2	G3	G4	G5	G6
特性	180°无辅助开关	100°无辅助开关	180°有辅助开关	100°有辅助开关	180°带电磁锁及辅助开关	100°带电磁锁及辅助开关

2. 外形结构及安装尺寸

CS9-G 型手力操动机构外形结构如图 4-13 所示。

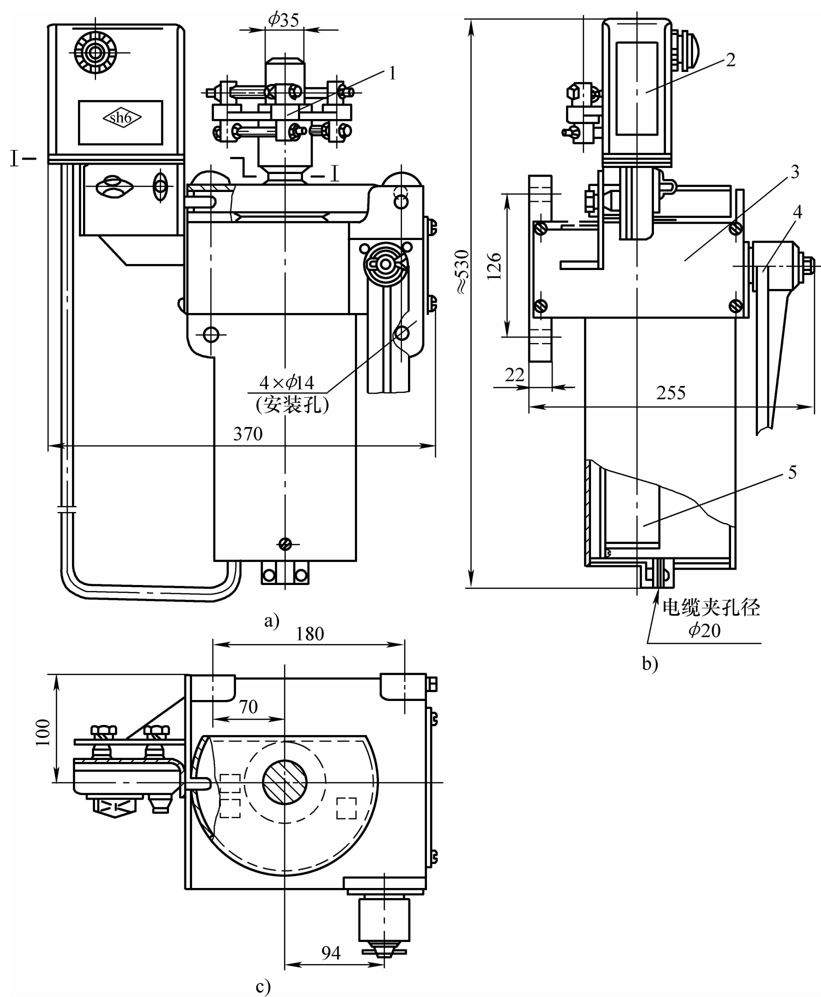


图 4-13 CS9-G 型手力操动机构外形结构

a）正视图 b）侧视图 c）Ⅰ-Ⅰ视图

1—主轴 2—电磁锁 3—蜗轮箱 4—手柄 5—辅助开关（4 对动合、4 对动断）

二、CJ2-XG 型电动操动机构

1. 简介

CJ2-XG 型电动机操动机构，属于户外用动力式机构，由电动机带动齿轮、蜗杆、蜗轮直接传动，供高压隔离开关或接地开关分、合闸操作用。可进行远方控制，也可就地电动控制或利用手柄进行人力操作。

操动机构由电动机驱动齿轮、蜗轮减速装置，带动输出轴工作，输出轴为垂直安装。机构中设有分、合闸终点限位开关及机械限位装置，使机构主轴的转角限制在准确的位置。

机构箱内设有刀开关和保护熔丝及机前电控操作的分、合闸按钮，也可用摇把进行人力分、合闸操作。机构内装有 6 个动合、6 个动断的辅助开关，由转轴带动辅助开关切换，在隔离开关处于合闸或分闸位置时，发出相应的信号。为便于安装维修，机构箱为三面开门结构，用专门钥匙打开前门，从箱内两侧拧开蝶形螺帽后，可打开两侧门。

2. 技术参数

CJ2-XG 型电动操动机构技术参数见表 4-14。

表 4-14　CJ2-XG 型电动操动机构技术参数

名　称	CJ2-XG	CJ2-XGⅡ	CJ2-XGⅣ	CJ2-XGⅤ	CJ2-XGⅥ
主轴转角	180°	192°	180°	180°	180°
额定输出转矩　N·m	750	1000	1000	1000	670
电动机功率　kW	0.75	1.1	1.1	1.1	0.5
分合闸线圈控制电压　V	直流 110，220 交流 220，380	直流 110，220 交流 220，380	直流 110，220 交流 220，380	直流 110，220 交流 220，380	直流 110，220
电动机电压　V	交流　380	交流　380	交流　380	交流　380	直流 110，220
分、合闸时间　s	6±1	6.4±1	6±1	8±1	5±1

3. 外形结构

CJ2-XG 型电动操动机构如图 4-14 所示。

4. 电气控制接线

CJ2-XG 型电动操动机构电气控制接线如图 4-15 所示。

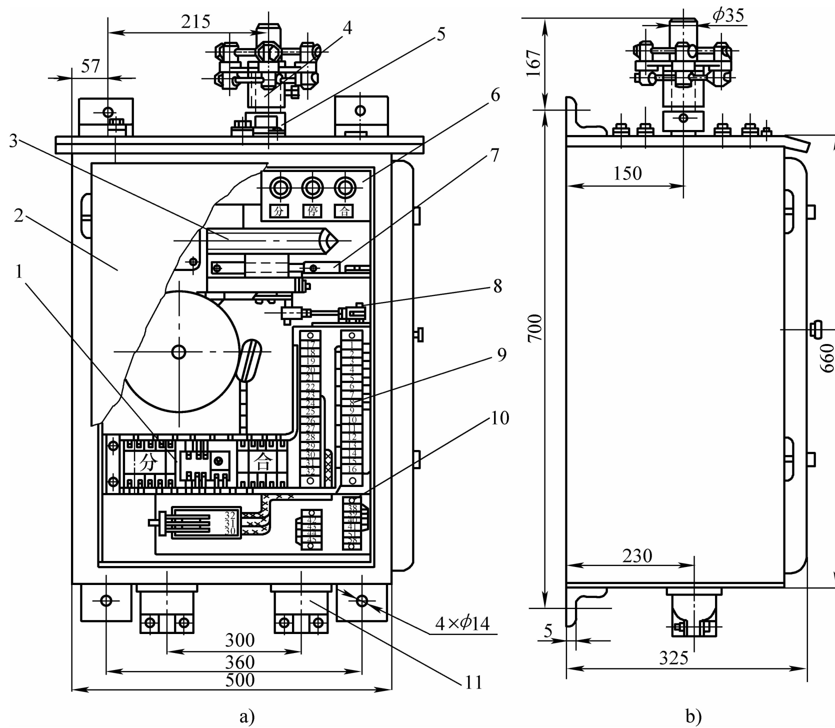
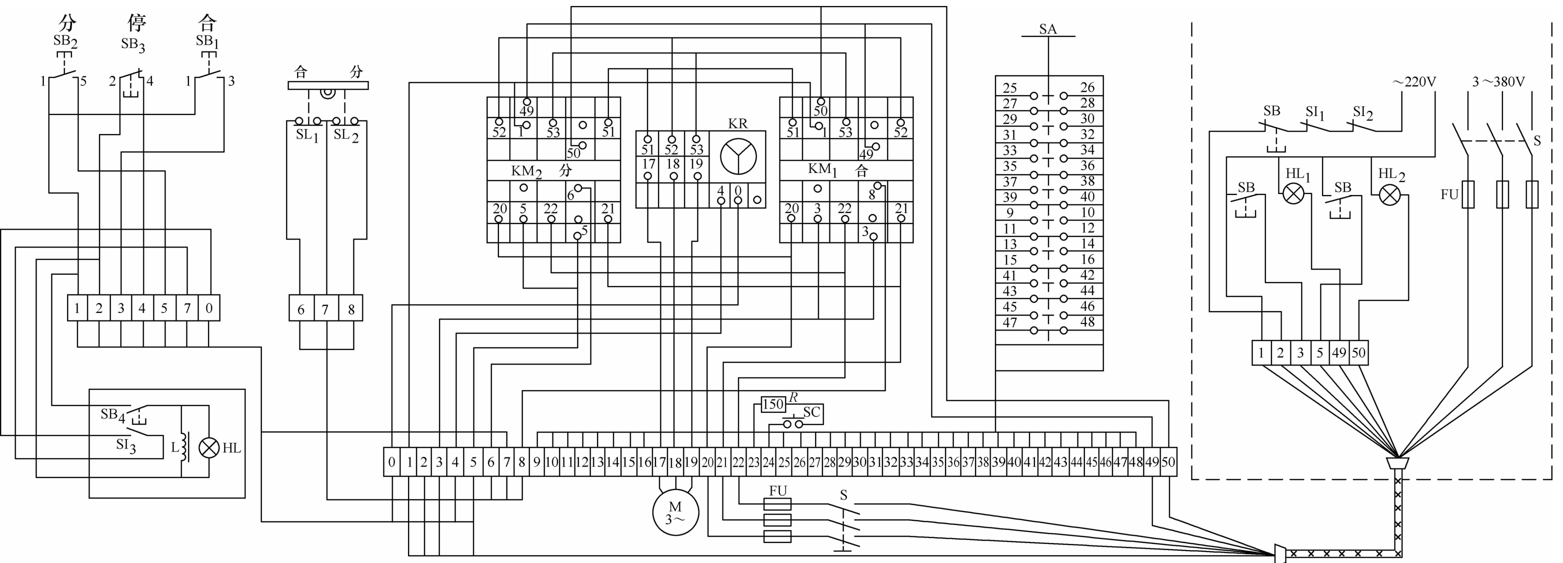


图 4-14　CJ2-XG 型电动机操动机构

a）正视图　b）侧视图

1—接触器及热继电器　2—机构箱　3—机构　4—连接器　5—分合位置指示器　6—操动按钮　7—限位开关　8—辅助开关　9，10—接线板　11—出线盒



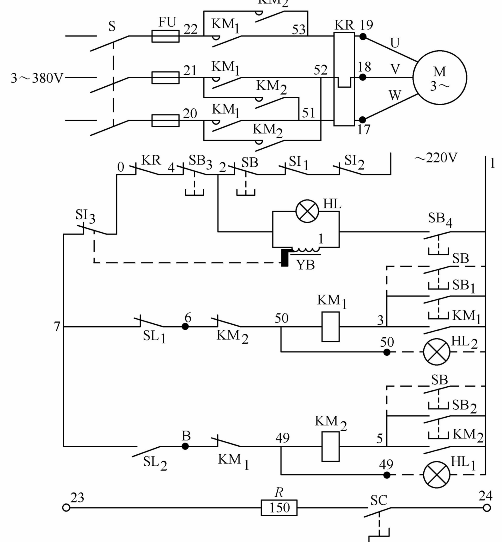


图 4-15　CJ2-XG 型电动机操动机构控制接线

a）安装接线图　b）原理接线图

M—交流电动机　KM1、KM2—接触器　HL、HL1、HL2—信号灯　FU—熔丝　SA—辅助开关（8 对动合、8 对动断）　SB—遥控按钮　KR—热继电器　R—电热器　SL1—合闸终端分断触头　SL2—分闸终端分断触头　SI_1—断路器联锁触头　SI_2—接地开关或隔离开关联锁触头　SI_3—电磁锁反闭锁接点　YB—电磁锁线圈　SB4—电磁锁按钮　S—低压开关　SC—旋钮开关　SB1、SB2、SB3—合、分、停按钮

注：1. 虚线部分为用户配接遥控及联锁线路。

2. 控制电压采用 220V；如需 380V 应事先协商。

3. 图示为机构在分闸位置（SL2 断，SL1 通）。

4. 当电磁锁线圈 YB 受电后，向右拉动锁钮时，SI_3 开关切断。锁钮复位后，SI_3 闭合。

第七节　断路器操动机构

一、CD10 型电磁操动机构

1. 简介

CD10 型电磁操动机构被应用在 10kV 开关柜的断路器操作。配备 DC110V、DC220V 直流电源。

2. 技术参数

CD 系列电磁操动机构技术数据见表 4-15。

表 4-15　CD 系列操动机构技术参数

型　　号	配用断路器	线圈动作电流/A				最低操作电压 U_N
		合闸线圈		分闸线圈		
		DC 110V	DC 220V	DC 110V	DC 220V	
CD10-Ⅰ	SN10-10Ⅰ	196	98	5	2.5	85%
CD10-Ⅱ	SN10-10Ⅱ	240	120			
CD10-Ⅲ	SN10-10Ⅲ	294	147			

注：U_N 为额定电压。

3. 外形结构

CD10 型电磁操动机构的结构如图 4-16 所示。

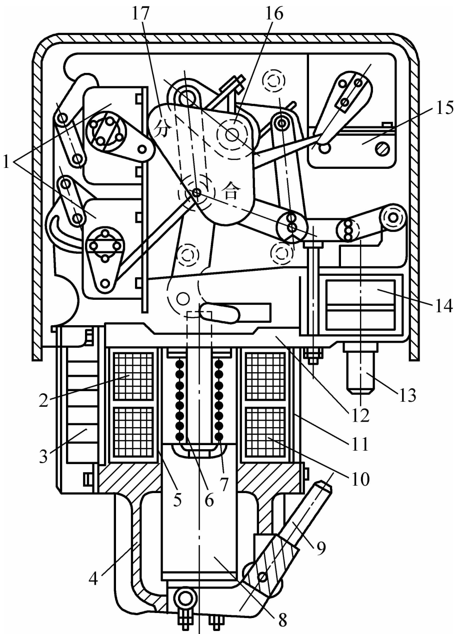


图 4-16　CD10 型电磁操动机构的结构

1—辅助开关　2—合闸线圈　3—接线板　4—缓冲法兰　5—内圆筒　6—顶杆　7—复位弹簧　8—合闸铁心　9—手动操作手柄　10—合闸线圈　11—外铁筒　12—支架　13—分闸铁心　14—脱扣器线圈（分闸线圈）　15—辅助开关　16—主转轴　17—分合闸指示牌

4. CD10 型操动机构的动作原理

CD10 型操动机构的分、合闸过程如图 4-17 所示。

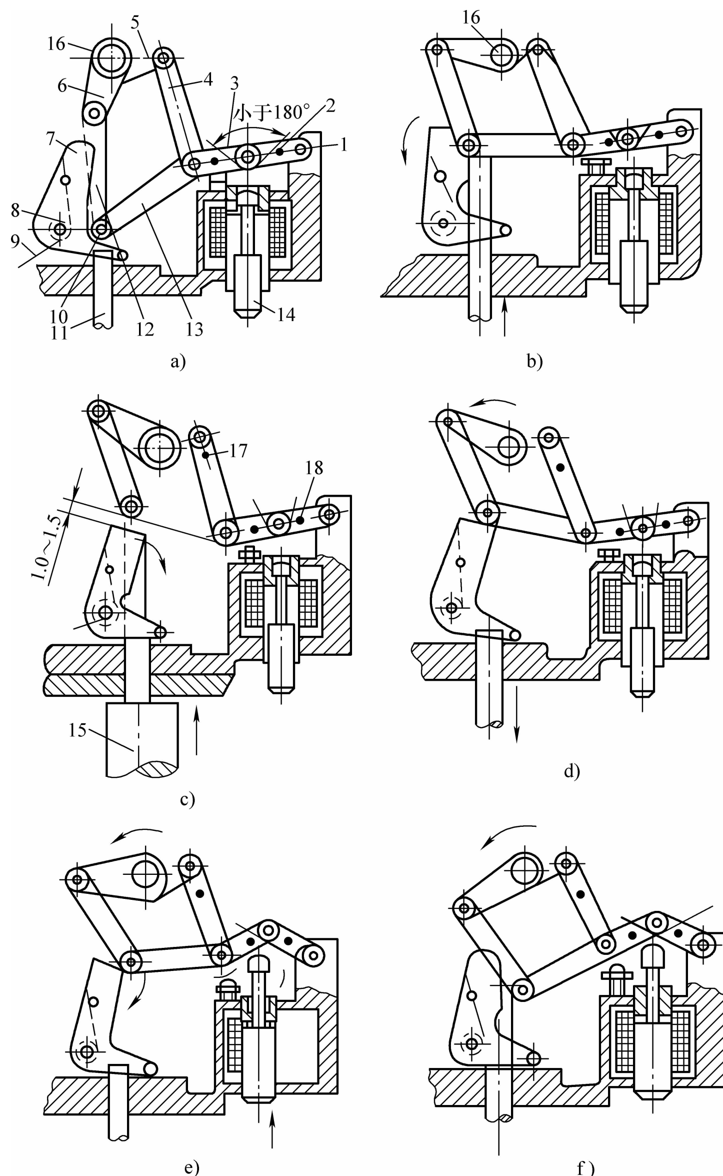


图 4-17　CD10 型操动机构分、合闸过程

a）机构准备合闸的状态　b）表示合闸过程　c）表示合闸的最终位置　d）表示合闸扣住位置　e）表示分闸过程　f）自由脱扣过程

1—定位螺钉　2、3、4、6、12、13—连杆　5、8、10、16—轴　7—托架　9—返回弹簧　11—合闸铁心顶杆　14—分闸铁心顶杆　15—合闸铁心　17、18—扭力弹簧

（1）合闸动作

合闸前，连杆 2 和 3 处于“死点”位置，如图 4-17a 所示，两杆基本上成一直线，接近 180°。在连杆 3 和 4 的作用下，使轴 5 固定不动，此时连杆 6、12、13 组成四连杆机构。当

合闸线圈通电时，铁心向上运动，推动轴 10 上行，通过四连杆机构使主轴 16 转动 90°，带动机构外的传动杆，使断路器合闸。与此同时，断路器的分闸弹簧被拉伸、储能如图 4-17b 所示，当铁心行至终点时，轴 10 与托架 7 出现 1.0 ~ 1.5mm 间隙如图 4-17c 所示。线圈断电后，铁心落下，托架 7 复位，轴 10 被支承在支架的圆弧面上如图 4-17d 所示，完成了合闸过程。此时，因主轴 16 的转动，使辅助开关原先的动断触头打开，切断合闸线圈电路。

（2） 分闸动作

分闸动作如图 4-17e 所示。当分闸线圈通电或手力撞击分闸铁心 14 向上冲击时，把连杆 2、3 撞离“死点”（此时角度大于 180°），在断路器分闸弹簧力的作用下，通过连杆 6 和 12，使轴 10 右移，离开托架 7 而落下，主轴 16 反时针转动 90°，完成分闸动作。分闸位置则由断路器上的分闸橡皮限位垫决定。此时因主轴的转动又使辅助开关已闭合的触头打开，切断分闸线圈电路。

（3） 自由脱扣动作

自由脱扣动作如图 4-17f 所示。所谓自由脱扣，是指断路器及其操动机构在合闸过程中任何时刻，接到分闸信号时，都能使断路器马上分闸。

合闸过程中，合闸铁心顶着轴心向上运动，一旦接到分闸信号，使分闸铁心马上向上运动，冲击连杆 2、3 撞离“死点”，在断路器分闸弹簧力作用下，轴 10 从铁心顶杆 11 的端头掉下，实现了自由脱扣。

二、CT 系列弹簧储能操动机构

1. 概述

CT 系列利用弹簧储存的能量进行合闸的机构，称为弹簧操动机构。其特点是成套性强，不需要附加设备，但结构较复杂，加工工艺及材料性能要求高。CT8 型弹簧操动机构系户内弹簧储能式中压断路器操动装置，用于操动 SN10-10 系列户内 SF_6 断路器或 ZN-10 系列真空断路器，可用于 10kV 或 6kV 固定式开关柜及手车式开关柜。

2. 技术参数

CT8 弹簧操动机构的技术参数见表 4-16。

表 4-16　CT8 弹簧操动机构的技术参数

型号	名　　称	额定电压/V		额定电流/A	额定功率/W	额定转速/(r/min)	备注
		DC	AC				
HDZ-22405A	单相串励交直流两用电动机	220	50Hz 220	2	240	530	E 级绝缘 IP20
A054-12-2	合闸线圈	220	—	2.5	550	—	QZ-1/0.33 31310 匝 (88 ± 1.5)Ω
A054-5-7	分励线圈	220	—	1.76	387	—	QZ-1/0.23 1700 匝 (125 ± 1.5)Ω
JZ14-447/4	继电器	220	—	—	—	—	4 动合触头 4 动断触头

3. CT8 型操动机构的结构

CT8 型操动机构的结构简图如图 4-18 所示。该机构采用夹板式结构，机构的储能驱动部分、合闸驱动的凸轮一四连杆部分和合闸电磁铁等布置在左右侧板之间，使各轴受力合理，稳定性好。两根合闸弹簧分别布置在左右侧板外边，右侧板外面装有切换电机回路的行程开关及供控制回路用的接线端子。合闸电磁铁、储能电机和辅助开关置于机构下部。“合”、“分”按钮分别安排在机构正面上方的左右两边，储能指示与“合”、“分”指示分别安排在机构正面。机构通过固定在左、右侧板上的两根角钢上的安装孔，用螺钉与断路器本体相连接。

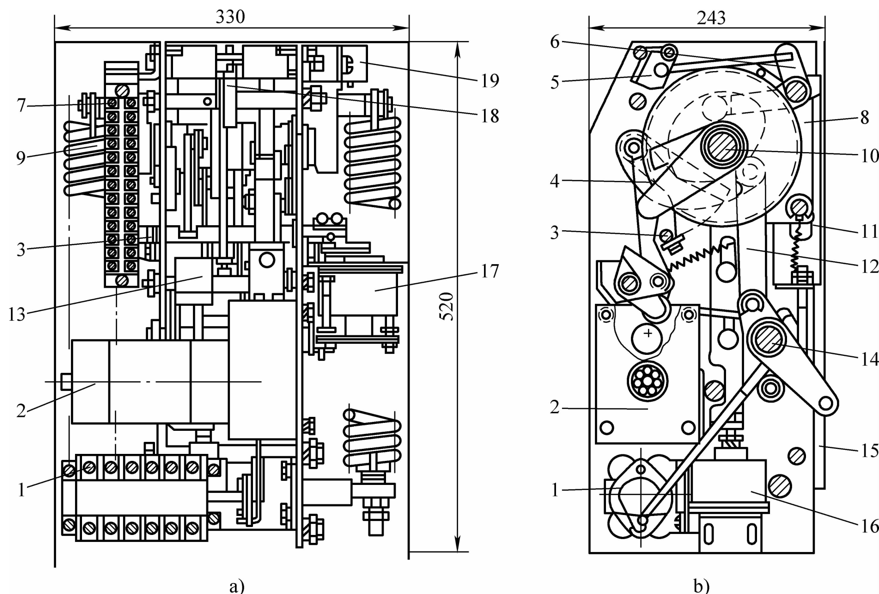


图 4-18　CT8 型操动机构结构简图

a）正视图　b）侧视图

1—辅助开关　2—储能电动机　3—半轴　4—驱动棘爪　5—按钮　6—定位件　7—接线端子　8—保持棘爪　9—合闸弹簧　10—储能轴　11—合闸联锁板　12—合闸四连杆　13—分合指示牌　14—输出轴　15—角钢　16—合闸电磁铁　17—过电流脱扣电磁铁及分闸电磁铁　18—储能指示　19—行程开关

CT8 型机构的储能方式有电动机储能和人力储能，合闸操作有合闸电磁铁操作和手动按钮操作，分闸操作也有分闸电磁铁操作和手动按钮操作。

4. CT8 型操动机构的动作原理

（1）电动机储能

机械储能部分动作示意图中，合闸弹簧处于未储能位置，如图 4-19a 所示，合闸弹簧处于已储能位置如图 4-19b 所示。

当接通储能开关后，储能电动机转动，带动偏心轮 1 按图 4-19a 中所示方向转动，通过靠在偏心轮上的滚轮 2，推动操动块 3 作上下摆动，从而使驱动棘爪 5 上下摆动，推动棘轮 7，按图示方向转动。棘轮 7 与储能轴是空套的。因此，在储能开始时，电动机只带动棘轮 7 在空转，当转到固定在棘轮 7 上的销 12 与固定在储能轴 11 上的驱动板 10 靠住以后，棘轮 7 就通过驱动板 10 带动储能轴 11，也按图 4-19a 中箭头所示方向转动，挂簧拐臂 14 与储能

轴 11 是键连接，储能轴 11 的转动，带动了挂簧拐臂 14，也按图 4-19a 所示箭头方向转动，则将合闸弹簧 15 拉长。当合闸弹簧过中后，固定在与储能轴键连接的凸轮上的滚轮 13，就靠紧在定位件 8 上，将合闸弹簧 15 的储能状态保持住，储能过程到此结束。在挂簧拐臂 14 过中的同时，一方面挂簧拐臂推动一行程限位开关，切断储能电动机电源，另一方面驱动板 10 通过驱动棘爪 5 上的靠板 6，将驱动棘爪 5 抬起，保证驱动棘爪与棘轮可靠脱离，这样既使储能电动机继续转动也不会将驱动棘爪与棘轮顶坏。

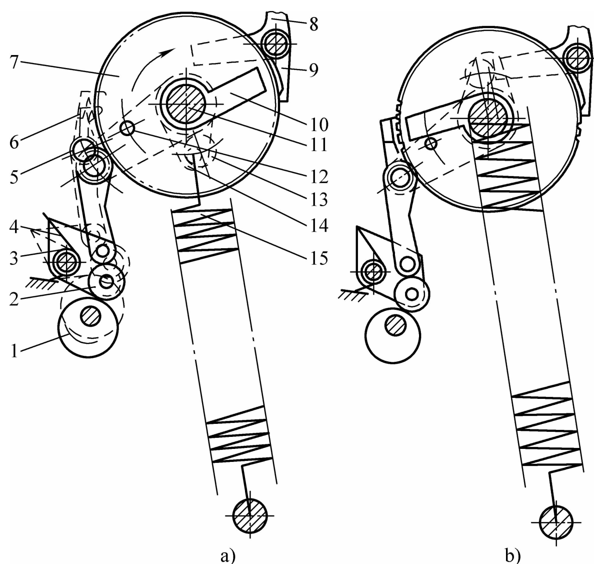


图 4-19　机械储能部分动作示意图

a）合闸弹簧处于未储能位置　b）合闸弹簧处于已储能位置

1—偏心轴　2—滚轮　3—操动块　4—操动块复位弹簧　5—驱动棘爪　6—靠板　7—棘轮　8—定位件　9—保持棘爪　10—驱动板　11—储能轴　12—销　13—滚轮　14—挂簧拐臂　15—合闸弹簧

（2）手动储能

手动储能一般在操动机构调整、过电流整定或紧急情况下使用。

手力操作储能时，插入的手把上下压动 30 下左右，听到“咔嗒”声响，即为弹簧储能结束或观察微动限位开关是否被挂簧拐臂触到。

（3）电动合闸

CT8 型操动机构合闸操作示意如图 4-20 所示。

已储能的合闸操作机构如图 4-20a 所示。实线表示机构处于分闸并已储能时的位置。

双点划线表示机构处于合闸，并已储能时的位置。

当按下合闸按钮或接到合闸信号后，合闸线圈得电，合闸电磁铁 1 的动铁心被吸向下运动，拉动导板 2 也向下运动，使杠杆 3 逆时针方向向下运动，杠杆 3 的转动带动固定在定位件 6 上的滚子 7 运动，推动定位件 6 顺时针转动，解除储能维持，完成合闸操作。当机构处于合闸位置时，联锁板 8 被复位弹簧 9 带动向上运动，联锁板上的槽将滚子 7 挡住，这样定位件不能作顺时针转动，达到机械联锁的目的，即保证机

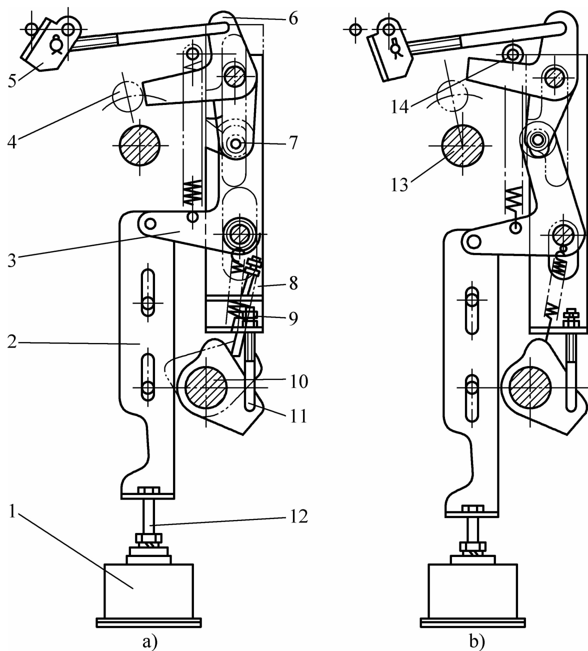


图 4-20　CT8 型操动机构合闸操作示意图

a）已储能的合闸操作机构　b）进行合闸操作时的操作机构

1—合闸电磁铁　2—导板　3—杠杆　4—凸滚上的滚轮　5—脱扣板　6—定位件　7—滚子　8—联锁板　9—复位弹簧　10—输出轴　11—拉杆　12—螺栓　13—储能轴　14—轴

构处于合闸位置时，不能合闸操作。

（4）手动合闸

按下手车面板上的按钮，往里按动时，推动脱扣板 5，通过调节螺杆推动定位件 6，作顺时针转动，解除储能维持，完成合闸操作。

（5）凸轮连杆机构

CT8 型操动机构中的凸轮连杆机构示意如图 4-21 所示。

1）凸轮连杆机构的合闸动作。图 4-21a 中，当机构处于分闸、合闸弹簧已储能的位置时，凸轮连杆机构的扇形板 4 由复位弹簧拉动复位至图 4-21a 所示位置，半轴 2 由本身复位弹簧带动复位到图示位置，此时，凸轮连杆机构完成了合闸的全部准备动作，一旦接到合闸信号，定位件 6 抬起解除储能维持，凸轮连杆机构的主要驱动元件凸轮 5，在合闸弹簧的带动下，按顺时针方向转动，推动滚子 7 向右下方运动，同时滚子 7 通过连板 3，带动扇形板 4 作顺时针转动，直到扇形板 4 与半轴 2 扣住为止，此时，轴 O_1'受约束不能运动，O_1'、A、B、O_2 组成四连杆机构，从动臂 O_2B 在凸轮的推动下，向逆时针转动，通过机构与断路器的连杆使断路器合闸，当凸轮转到等圆面上时，便完成了合闸操作，如图 4-21b 所示。

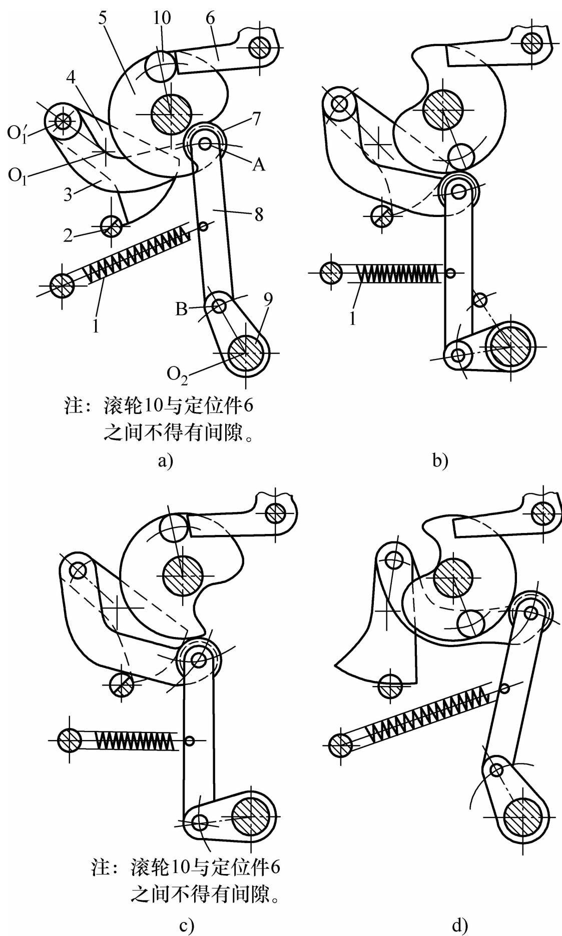


图 4-21　CT8 型操动机构中的凸轮连杆机构示意图

a）凸轮连杆机构处于分闸，且合闸弹簧已储能的位置

b）凸轮连杆机构处于合闸，且合闸弹簧未储能的位置

c）凸轮连杆机构处于合闸，且合闸弹簧已储能的位置

d）凸轮连杆机构处于分闸，且合闸弹簧未储能的位置

1—复位弹簧　2—半轴　3—连板　4—扇形板　5—凸轮　6—定位件　7—滚子　8—连板　9—输出轴　10—滚轮

2）凸轮连杆机构的重合闸动作。机构完成合闸动作以后，凸轮连杆处于图 4-21b 所示的位置。此时的位置可以进行储能操作，因为凸轮 5 和滚子 7 相接触在凸轮的等圆面上，所以在整个储能过程中，输出轴 9 始终处于图 4-21b 所示的位置，对断路器的合闸位置毫无影响。储能结束后，凸轮连杆机构处于图 4-21c 所示位置。此时，如果接到分闸信号，并完成分闸动作，凸轮连杆机构便恢复到图 4-21a 所示的位置，只要接到合闸信号，便可以完成合闸动作，即实现一次自动重合闸操作。

3）凸轮连杆机构的分闸动作与自由脱扣。合闸动作完成后，一旦接到分闸信号，半轴 2 在脱扣力的作用下，也向顺时针方向转动，完成分闸动作。如果是在合闸过程中接到分闸信号，半轴 2 和扇形板 4 也同样向顺时针方向转动，此时，轴 O_1'不再受约束、四连杆 O_1'、

A、B、O_2 变成五连杆 O_1、O_1'、A、B、O_2 由于五连杆的主动脊和从动臂之间没有确定的运动特性，所以尽管此时凸轮仍在继续转动，但从动臂 O_2B 不再受凸轮 5 的影响，而在断路器分闸弹簧力的作用下，完成分闸动作，即实现自由脱扣。

（6）分闸操作

CT8 型操动机构手分按钮操作如图 4-22 所示，CT8 型操动机构分闸操作示意如图 4-23 所示。

1）手动分闸。图 4-22 为机构处于合闸位置时的扇形板 2 与半轴 3 的位置。当用手分按钮推动手分脱扣板 1 时，半轴 3 向顺时针方向转动，当半轴 3 转动一定位置时，扇形板 2 与半轴 3 的扣接由于脱扣板 4 的作用而被解除，扇形板 2 也向顺时针方向转动，完成分闸动作。

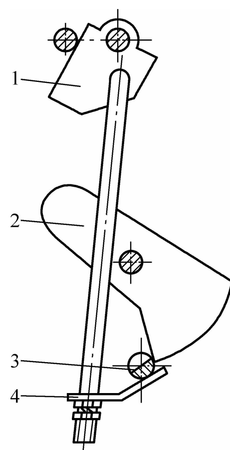


图 4-22　CT8 型操动机构手分按钮操作图
1—手分脱扣板　2—扇形板　3—半轴　4—脱扣板

2）过电流脱扣器和由独立电源供电分闸电磁铁进行分闸操作。在图 4-23a 中，半轴 1 的位置为机构处于合闸状态时的位置，当半轴 1 下方的脱扣器（过电流脱扣器或由独立电流供电的分闸电磁铁）中的任何一个线圈，一旦接到分闸信号，该脱扣器的动铁心 15 就被吸合向上运动，推动顶杆 16，并通过脱扣板 17 使锁扣 6 向逆时针方向转动，解除锁扣 4 和锁扣 6 的扣接，这样，锁扣 4 就在弹簧 3 的带动下，向逆时针方向转动，通过拉杆和脱扣板 2 使半轴 1 向顺时针方向转动，如图 4-23b 所示。解除了半轴 1 对扇形板的约束，完成分闸动作。

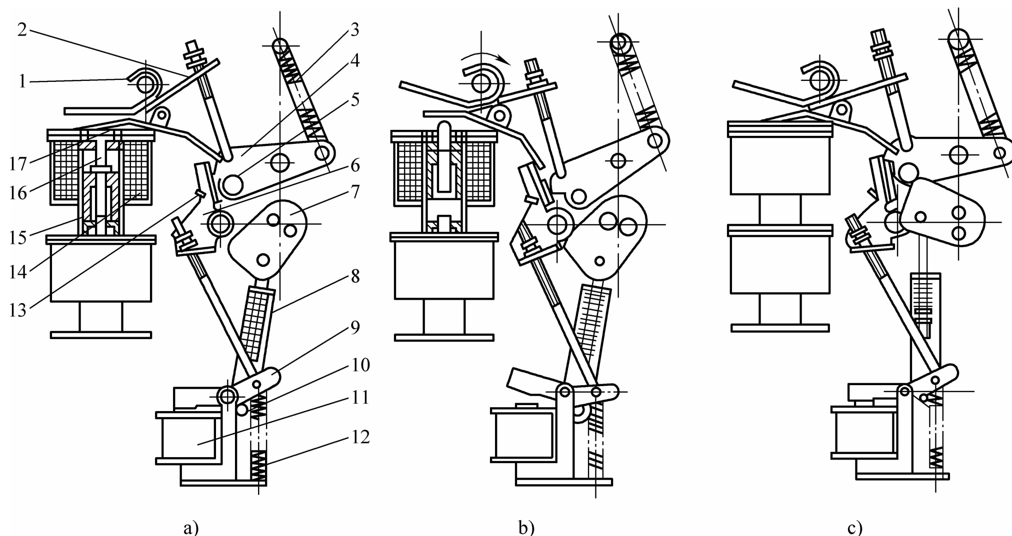


图 4-23　CT8 机构分闸操作示意图
a）过电流脱扣或独立电源分闸电磁铁分闸操作示意图　b）分闸状态示意图　c）失压脱扣器铁心复位示意图
1—半轴　2—脱扣板　3—弹簧　4—锁扣　5—滚轮　6—锁扣　7—凸轮板　8—失压复位弹簧
9—失压脱扣器动铁心　10—销轴　11—失压脱扣器线圈　12—失压脱扣器弹簧
13—锁扣复位弹簧　14—脱扣器线圈　15—动铁心　16—顶杆　17—脱扣板

3）失压脱扣器进行的分闸操作。图 4-23b 为机构处于合闸位置的失压脱扣器吸合状态下的情况。此时，锁扣 4 和锁扣 6 在扣接处扣住，使弹簧 3 拉长，半轴 1 处于合闸位置，一旦电磁铁线圈失电或欠压，动铁心 9 就被弹簧 12 拉向顺时针转动，并通过拉杆，带动锁扣 6 向逆时针方向转动，通过拉杆和脱扣板 2，使半轴 1 向顺时针方向转动，解除半轴 1 对扇形板的约束，完成分闸动作。

失压脱扣器动铁心 9 和弹簧 3，在完成了分闸操作后，都不能自行复原。所以，在机构的输出轴上，另外装了一块凸轮板 7，在机构的分闸过程中，凸轮板 7 向顺时针方向转动，一方面凸轮板 7 上面顶住固定锁扣 4 上的滚轮 5 将锁扣 4 抬起。使弹簧 3 再拉长，并将锁扣 4 复位到可以与锁扣 6 再行扣住的位置。此时锁扣 6 由其复位弹簧 13 带动自行复位。另一方面凸轮板 7 通过失压复位弹簧 8 将销轴 10 拉起，销轴 10 又将失压脱扣器动铁心 9 恢复到吸合状态，完成失压脱扣器铁心复位，如图 4-23c 所示。

如失压脱扣器线圈在无电情况下进行合闸操作，则在合闸过程中，凸轮 7 向逆时针方向转动，销轴 10 向下移动离开铁心，失压脱扣器即重复分闸操作，机构实现自由脱扣。

第八节　隔离开关的运行维护

一、隔离开关的操作

1）在手动合上隔离开关时，应迅速果断，但在合闸行程终了时，不能用力过猛，以防损坏支持绝缘子或合闸过头。

2）使用隔离开关切断小容量变压器的空载电流，切断一定长度的架空线路、电缆线路的充电电流，解环操作等，均会产生一定长度的电弧，此时应迅速拉开隔离开关，以便尽快灭弧。

3）操作隔离开关前应注意检查断路器的分、合位置，严防带负荷操作隔离开关。合闸操作后，应检查接触是否紧密；拉闸操作后，应检查每相是否均已在断开位置。操作完毕后，应将隔离开关的操作把手锁住。

4）操作中若发生带负荷误合隔离开关，即使合错，甚至在合闸时发生电弧，也不准将隔离开关再拉开，因为带负荷拉隔离开关，将造成三相弧光短路事故。若发生错拉隔离开关时，在刀片刚离开固定触头时，应立即合上，可以消灭电弧，避免事故。如隔离开关刀片已离开固定触头，则不得将误拉的隔离开关再合上。

二、隔离开关的巡视检查

1）监视隔离开关的电流不得超过额定值，温度不超过允许温度（70℃），接头及触头应接触良好，无过热现象。否则，应设法减小负载或停用。若电网负载暂时不允许停电时，则应采取降温措施并加强监视。

2）检查隔离开关的绝缘子（瓷质部分）应完整无裂纹、无放电痕迹和异常声音。

3）隔离开关本体与操作连杆及机械部分应无损伤。各机件紧固、位置正确，电动操作箱内应无渗漏雨水，密封应良好。

4）检查隔离开关运行中应保持“十不”，即不偏斜、不振动、不过热、不锈蚀、不打火、不污脏、不疲劳、不断裂、不烧伤、不变形。

5）检查隔离开关在分闸时的位置，应有足够的安全距离，定位锁应到位。

6）检查隔离开关的防误闭锁装置应良好，应保证电气闭锁和机构闭锁均在良好状态，辅助触头位置应正确，接触应良好，隔离开关的辅助切换触头应安装牢固，动作正确（包括母线隔离开关的电压辅助开关），接触良好。装于室外时，应有防雨罩壳，并密封良好。

7）检查带有接地开关的隔离开关，应接地良好，刀片和刀嘴应接触良好，闭锁应正确。

8）合上接地开关之前，必须确知有关各侧电源均已断开，并进行验明无电后才能进行。

9）装有闭锁装置的隔离开关，不得擅自解锁进行操作（包括电动隔离开关，直接掀动接触器、铁心等进行操作），当闭锁确实失灵时，应重新核对操作命令及现场命令，检查有关断路器位置等确保不会带负载拉合隔离开关时方可操作，不准采取其他手段强行操作。

10）在运行或定期试验中，发现防误装置有缺陷，应视同设备缺陷及时上报，并催促处理。

三、隔离开关的常见故障及处理

1. 接触部分发热

1）压紧弹簧或螺钉松动，应检查并调整弹簧压力，必要时，更换压紧弹簧。

2）接触面氧化使接触电阻增大，应使用“0—0”号砂纸清除触头表面氧化层，研磨接触面以增大接触面积，并在触头上涂中性凡士林。

3）刀片与静触头接触面积太小或过负荷运行，应更换容量较大的隔离开关或在停电处理之前应降负荷使用。

4）操作时应用力适当，操作后仔细检查触头接触情况，以防触头发热。

2. 绝缘子松动和表面闪络

1）表面脏污，用带电水冲洗绝缘子，结合停电进行清扫或在绝缘子表面涂料。

2）胶合剂膨胀、收缩或因外力作用而发生松动，应更换松动的绝缘子。

3. 刀片发生弯曲

由于刀片之间电动力的方向交替变化或调整部位发生松动，刀片偏离原来位置而强行合闸使刀片变形，应检查接触面中心线是否在同一直线上，调整刀片或瓷柱的位置，并紧固松动的部件。

4. 拒绝分闸

引起拒分的原因有：覆冰、传动机构卡涩或接触部分卡住等。维修时应扳动操动机构手柄，找出故障的部位进行处理，但不应强行拉开，以免损坏部件。

5. 拒绝合闸

1）轴销脱落、铸铁件断裂等机械故障或电气回路故障，可能发生刀杆与操动机构脱节。应固定好轴销，更换损坏部件，消除电气回路故障。如当时不能处理，可用绝缘棒进行操作，或在保证人身安全的情况下用扳手转动每相隔离开关的转轴。

2）传动机构松动，使两接触面不在一直线上，应调整松动部件，并使两接触面在一直线上。

6. 自动掉落合闸

原因是机械闭锁装置失灵，应更换闭锁装置中不合格的零件，检修后的部件应按规定装配。

7. 操作中发生带负荷拉、合隔离开关时的处理

1）带负荷合隔离开关时，即使发现合错，也不准将隔离开关再拉开。因为带负荷拉隔离开关，将造成三相弧光短路事故。

2）带负荷错拉隔离开关时，在刀片刚离开固定触头时，便发生电弧，这时应立即合上，可以消除电弧，避免事故。但如隔离开关已全部拉开，则不许将误拉隔离开关再合上。

第九节　真空断路器的运行维护及故障处理

一、真空断路器正常运行时的检查

1. 合闸状态时的检查

1）真空断路器操动机构应在合闸位置。

2）真空断路器主轴滚轮离开油缓冲器。

3）分闸弹簧处于储能拉伸状态。

4）真空灭弧室动触杆留露在导向板下的长度约 4～5mm。

5）真空灭弧室内的波纹管可见（用陶瓷管无此项）。

6）真空断路器上、下支架的试温片应无明显变化。

2. 导电部位的检查

1）上、下支架的外部连接螺栓。

2）上支架固定真空灭弧室螺栓。

3）下支架导电夹螺栓。

上述螺栓不应有松动。

3. 传动部件的检查

1）拐臂与灭弧室动端杆的 3 根轴，两端挡卡。

2）拉杆与拐臂的固定螺母及犟母。

3）6 只固定支柱绝缘子的 M20 螺栓（在真空断路器框架）。

4）固定真空断路器的安装螺栓。

5）机构大轴与断路器拐臂的连接螺母及犟母。

6）传动连接杆的焊接部位有无断裂。

7）主传动轴的轴销有无松动脱落。

禁止将任何东西放在真空断路器的静支架上，以防止落下时打坏真空灭弧室。

二、真空断路器异常运行时的检查

1）真空断路器的真空室损坏。在巡视中若发现真空断路器的真空室损坏，但没有造成接地或短路时，应立即向调度申请将此路负荷倒出，同时打开重合闸连接片。

2）真空断路器在使用中真空度异常。真空断路器利用高真空的高介质强度绝缘和灭弧。真空断路器灭弧性能良好，几乎不需要检修，寿命较长，具有频繁操作能力，工作可靠，适宜操作高压电动机电容器组等户内式 6～35kV 的高压电器。触头用铜铬材料，额定电流达 1000～3150A。额定开断电流可达 25～40kA，全容量开断可达 30～50 次，多配用电磁或弹簧操动机构，在变电所使用日益增多。真空断路器的灭弧室的真空值必须保证在 1.33×10^{-2}Pa 以上才能可靠地运行，如低于此真空度，则不能灭弧。由于现场测量真空度

判别是否合格有一定的困难，目前尚无完善的检测手段，因此一般均以工频耐压试验合格为标准。

正常巡视检查时应注意屏蔽罩的颜色应无异常变化，特别要注意断路器分闸时的弧光颜色。正常情况下弧光呈微蓝色，若真空度降低后变为橙红色，应及时申请停用检查，更换真空灭弧室。

造成真空断路器真空度降低的主要原因有：使用材料、气密情况不良；金属波纹管密封质量不良；在调试过程中，行程超过波纹管的范围，或超行程过大、冲击力太大等。

此外，还检查超行程减少量（即检查触头的磨损量），当磨损量累计超过规定值（4mm）时，应更换真空灭弧室。

三、真空断路器的运行维护

真空断路器投入运行后，应定期进行以下检查、维护和调整。

1. 触头磨损的监测

真空断路器的触头既是正常的通流元件，又是开断短路电流的关合元件，所以无论是正常开断还是故障开断都会使触头表面熔损而变薄。操作越频繁，开断电流越大，触头表面的磨损会越厉害。

由于真空断路器的触头都是平板对称式电极，合闸时，电极平面接触后，触头没有再向前继续前进的行程，而由操作杆再继续前进一段距离，压缩弹簧使触头间接触压力增加，以保证触头间压力和接触电阻正常。若触头表面烧损则压缩行程增大，接触压力降低和接触电阻增加，超过规定的烧损量，则正常通流时触头就会发热，在开断短路电流时就会熔触甚至爆炸。所以制造厂商都规定了触头允许烧损厚度的数值，一般为2～3mm，以便运行单位进行监视、调整和更换。

为了准确掌握触头的累计电磨损值，断路器在第一次安装调试中就必须测量出动导电杆露出某一基准线的长度，并做好记录，以此作为历史参考。在以后每次检修中测量行程时，都必须复测该长度，其值与第一次原始值之差就是触头的电磨损值，当其超过标准时就要更换。

2. 真空灭弧室的真空度的检查

真空度是表征真空断路器性能的最重要的参数，如果真空断路器的真空度不能满足正常工作要求的数值，这台真空断路器就不能承担正常的工作。根据试验，要满足真空灭弧室的绝缘强度，真空度不能低于6.6×10^{-2}Pa，工厂制造的新灭弧室要求达到7.5×10^{-4}Pa以下，以此作为真空灭弧室可靠工作的保证。这也是对真空灭弧室的真空度进行监测的依据。

但是，由于真空灭弧室使用材料和制造质量方面的原因，真空灭弧室的真空度会降低。真空灭弧室的真空度一旦降低到一定数值，将会影响其开断能力和绝缘水平，因此，必须定期检查真空灭弧室内的真空度。目前采用如下检测方法：

（1）加强巡视检查

正常巡视检查时应注意屏蔽罩的颜色有无异常变化，特别要注意断路器分闸时的弧光颜色。正常情况下弧光呈微蓝色；若真空度降低，变为橙红色；当真空度严重降低时，内部颜色就会变得灰暗，在开断电流时将发出暗红色弧光。这种情况下，应及时申请停用检查，更换真空灭弧室。

加强巡视检查方法也只适用于玻璃管真空灭弧室，而且只能作定性检查。

（2）火花检漏计法

这种方法采用火花探漏仪检测。检测时将火花探漏仪沿灭弧室表面移动，在其高频电场作用下内部有不同的发光情况。根据发光的颜色来鉴定真空灭弧室的真空度，若管内有淡青色辉光，说明其真空度在 1.33×10^{-3}Pa 以上；若呈蓝红色，说明该管已经失效；若管内已处于大气状态，则不会发光。

火花检漏计法比较简单，但只适用于玻璃管真空灭弧室。

（3）交流耐压法

交流耐压法是运行中常用的检测方法。规程规定，要定期对断路器主回路对地、相间及断口进行交流耐压试验，试验电压值见表 4-17。要按以下方法试验，触头开距为额定开距，在触头间施加额定试验电压；如果真空灭弧室内发生持续火花放电，则表明真空度已严重降低，否则表明真空度符合要求。

表 4-17　真空断路器交流耐压试验电压值

系统标称电压 /kV	设备最高电压 /kV	试验电压（有效值）/kV			加压时间 /min
		相对地	相　间	断　口	
3	3.6	25	25	25	1
6	7.2	30（20）	30（20）	30（20）	
10	12	42（28）	42（28）	42（28）	

注：括号内和括号外数据分别对应是和非低电阻接地系统。

实践表明，采用交流耐压法检测严重劣化的真空灭弧室的真空度是一种简便有效的方法。如图 4-24 所示为测定真空度的接线图。

试验方法为用接触调压器以 20kV/min 的升压速度一直升到真空断路器的工频耐受电压值。如果电压上升过程中，放电使电流表指针摆动，则将电压降至零，再升电压，反复 2～3 次。如果真空灭弧室能耐受工频电压 10s 以上，可认为真空度符合要求；如果随着电压升高，电流也增大，且超过 5A，则认为不合格。

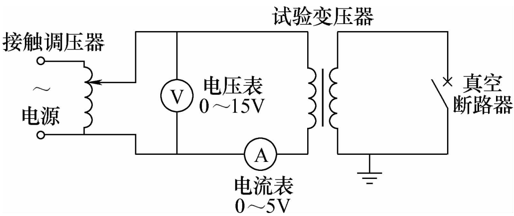


图 4-24　测定真空度的接线

（4）真空度测试仪

利用专用的真空度测试仪定量测量真空度，比上述间接检测方法准确得多。目前比较精确的方法是磁控法。根据磁控法原理研制的国产真空度测试仪有 VCTT-ⅢA 型和 ZKZ-Ⅲ型等。

（5）更换真空灭弧室

在检修时，如更换 ZN12-10 型真空断路器的真空灭弧室具体步骤如下：

按图 4-25 所示，先拧开上出线座螺钉 1，拧下螺母 3，并卸下上出线座 2；然后再按图 4-26 提起，即可卸下灭弧室。

重装时，先将新灭弧室导电杆用刷子刷出金属光泽，进行清洗处理，并涂上中性凡士林；然后双手握住灭弧室往下装入固定板大孔中，并将导电杆插入导向套中；最后按拆卸相

反次序依次固定各部螺栓。注意三相上出线座的垂直位置和水平位置相差不应超过 1mm，特别应注意紧固好导电夹的螺钉。

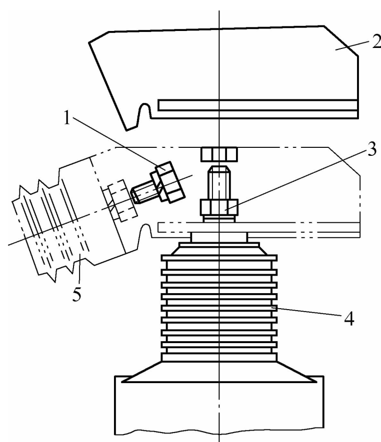


图 4-25　卸下上出线座示意图
1—螺钉　2—上出线座　3—螺母
4—灭弧室　5—支持绝缘子

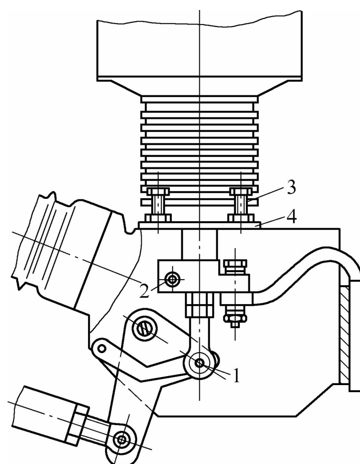


图 4-26　卸下下出线座示意图
1—轴销　2—导电夹螺栓
3—螺钉　4—下出线座

更换灭弧室时，灭弧室在紧固件紧固后不应受弯矩，也不应受到明显的拉应力和横向应力，且灭弧室的弯曲变形不得大于 0. 5mm。上支架安装后，上支架不可压住灭弧室导向套，其间要留有 0. 5 ~ 1. 5mm 的间隙。

3. 测量及调整真空断路器的行程及超行程

运行中的真空断路器，检修后如开距超过规范范围及超行程小于规定值时，必须按要求进行测量调整，其方法如下：

（1）实测法

实际测量 ZN12-10 型真空断路器的行程如图 4-27 所示。测量分、合闸位置时的 $x_{分}$、$x_{合}$，则导电杆行程（即开距）等于这两个数值之差，即 $x_{分} - x_{合}$。

测量超行程的示意图如图 4-28 所示。测量分、合闸状态下触头弹簧的长度 $L_{分}$ 和 $L_{合}$，则触头超行程为两数值之差，即 $L_{分} - L_{合}$。

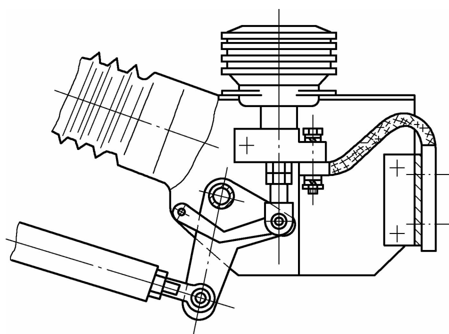


图 4-27　调整触头行程示意图

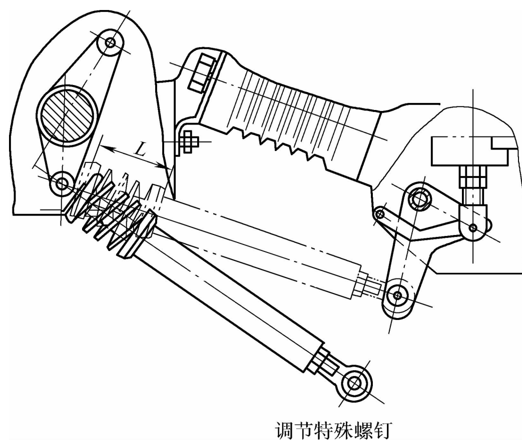


图 4-28　测量超行程示意图

当触头行程不符合要求时，可卸下绝缘拉杆处的轴销，调整绝缘拉杆长度。如行程偏小，可将调节特殊螺钉向里拧入，使拉杆变短；反之则可使行程减小。

ZN28-10 型断路器的触头开距行程是用增减分闸缓冲器的调整垫片来调节的。超行程主要靠调整绝缘拉杆处的调整螺栓来达到。该螺栓的螺距为 1.5mm，所以将螺栓旋出半圈，超行程会增加 0.625mm，反之则减少 0.625mm。另外，调整操动机构输出杆的长度可以同时改变三相的超行程而不改变触头开距。

（2）使用超程监视装置测量

超程监视装置由检测器和显示器两部分组成，如图 4-29 所示为这种装置的基本结构。检测器被组装在真空开关触头弹簧 5 的近旁，通过馈线 3 与声光显示器相连接。显示器可根据实际需要，安置在便于观察的柜门上或控制室内。

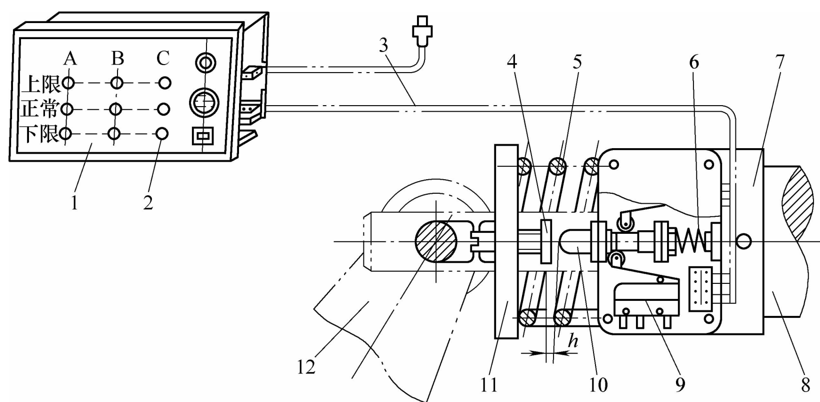


图 4-29　超程监视装置

1—显示板　2—指示灯　3—馈线　4—调节钉　5—触头弹簧　6—复位弹簧
7—底板　8—绝缘子　9—微动开关　10—导杆　11—导板　12—操作臂

检测器由装在底板 7 上的导杆 10、微动开关 9、复位弹簧 6、调节钉 4 和导板 11 等构成。显示器由组装在印制电路板上指示三相超程状态的发光二极管以及用以报警的蜂鸣器等构成。

检测器是借助于真空断路器的分、合动作，在触头弹簧被压缩或伸长的同时，使微动开关 9 的各触头按规定的超程尺寸实现相应的开闭动作。如图 4-29 所示，当调节钉 4 向右移动时，先走过空程 h，然后推动导杆 10 同向移动，从而使微动开关中的各触头先后转换，由此指示灯 2 便分别以各色光亮实现显示。

真空断路器超程尺寸如图 4-30 所示。图中，S 为超程总长，超出此尺寸时显示器的上限灯发光（黄灯亮）；h 为超程下限尺寸，低于此尺寸时，显示器的下限灯发光（红灯亮）。

$$N = S - h$$

式中，N 为超程允许变化范围。超程在 N 区间时，显示器的绿灯亮，表明情况正常。

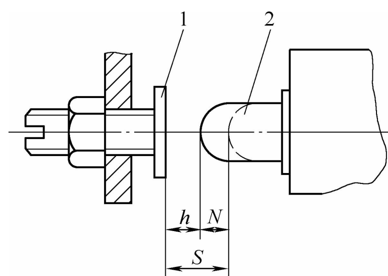


图 4-30　超程尺寸

1—调节钉　2—导杆

当三相中任一相的超程降到小于下限尺寸时，显示

器红灯亮，并伴以蜂鸣器声响（若需要），自动报警。

4. 测量真空断路器的分、合闸速度

真空断路器在制造厂出厂调试中已使分、合闸速度合格，在安装或检修中一般可不进行测试。但当更换真空灭弧管或重新调整行程等检修后，就必须测试分、合闸速度。

真空断路器的分、合闸速度，一般都是指触头在闭合前或分离后一段行程内的平均速度（各种型号断路器规定的测取行程不相同，如 ZN12-10 型为 6mm）。

由于真空断路器触头行程很小（一般为 10 ~ 12mm），因而通常只能采取附加触头或采用滑线电阻两种测量方法。如图 4-31 所示为采用附加触头的测速方法。附加的静触头固定在下接线基座上，动触头固定在动触杆装配上。测量合闸速度时，分闸位置将附加动、静触头开距调为 6mm（ZN12-10 型）；测量分闸速度时，合闸位置将附加触头压缩行程调为 6mm。

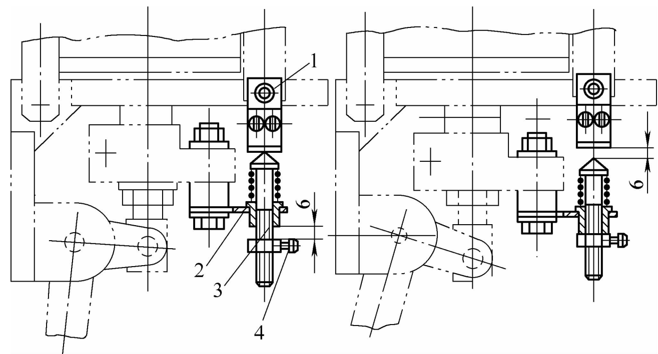


图 4-31　分、合闸速度测量方法

1—静触头　2—动触头弹簧　3—动触头　4—可调螺母

四、真空断路器的故障处理

1）电动合闸合不上，其原因可能是铁心与拉杆松动，此时应卸下静铁心即可调整铁心位置。使用手力即可合闸，合闸终了时，掣子与滚轮之间应有 1 ~2mm 间隙。

2）空合闸，其故障原因可能是掣子扣合距离太少，未过死点。此时应将调整螺钉向外调，使掣子过死点，调完后应将螺钉紧固。

3）电动不能脱扣，其原因可能是掣子扣得太多，应将调整螺钉向里调，并将螺母紧固；分闸线圈的连接线松脱，应重新接线；操作电压低，应调整电压。

4）分、合闸线圈烧坏，可能原因是辅助开关触头接触不良，此时应用砂纸擦磨触头或更换辅助开关。

对于真空断路器，应掌握其检修周期、跳闸次数、耐压强度、回路电阻、触头的电磨损量及其他技术数据，以保证断路器的安全运行。真空断路器可能出现的故障和处理方法见表 4-18。用于较频繁操作场合的真空断路器的检修周期和项目见表 4-19。

表 4-18　真空断路器的故障原因及处理方法

故障情况	故 障 原 因	处 理 方 法
电动合不上闸	铁心与拉杆松脱	调整铁心位置，卸下静铁心即可调整，使之手动可以合闸，合闸终了时，掣子与滚轮间应有 1 ~2mm 间隙

（续）

故障情况	故　障　原　因	处　理　方　法
合闸空合	掣子扣合距离太少，未过死点	将调整螺钉向外调，使掣子过死点，完毕后应将螺钉紧固，并用红漆点封
电动不能脱扣	（1）掣子扣得太多 （2）分闸线圈的连接线松脱 （3）操作电压低	（1）将螺钉向里调，并将螺母紧固 （2）重新接线 （3）调整倒塌
合闸线圈、分闸线圈烧坏	辅助开关触头接触不良	用砂纸打磨接触头或更换辅助开关

表 4-19　真空断路器的检修周期和项目

性质	周　　期	项　　目	备　　注
维修	200 次操作	清扫检查	包括接触器
大修	2 年	检查、校验、调整	包括吸收元件全套预试项目

第十节　SF_6 断路器的运行维护及故障处理

一、SF_6 断路器运行中的检查和维护

运行人员在正常巡视时，应对 SF_6 断路器进行仔细检查，发现缺陷，及时消除，以确保人身和设备的安全。其检查点如下：

1）加强水分的监视。水分较多时，SF_6 会水解成有毒的腐蚀性气体；当水分超过一定量，在温度降低时会凝结成水滴，粘附在绝缘表面。这些都会导致设备腐蚀和绝缘性能降低，因此必须严格控制 SF_6 气体中的含水量。测定 SF_6 气体中的含水量，可用电能法原理制成的水分测量仪进行测量，或用露点法测量。按原能源部有关导则规定，SF_6 气体中含水量标准：交接试验时，在断路器气室内为 15×10^{-4}，在其他设备气室内为 250×10^{-4}；在运行中，断路器气室内为 3×10^{-4}，其他设备气室内为 5×10^{-4}。含水量测试周期，在设备投入运行后每 3 个月检测 1 次，直至稳定后，方可每年检测 1 次。

2）检查绝缘瓷套管有无裂纹、放电及脏污现象。检查外部连接导体和电气设备接头处有无过热现象。SF_6 气体管道系统及阀门，有无损伤和裂缝。

3）加强 SF_6 气体压力的监视。SF_6 气体压力正常值为 0.4～0.6MPa，为保持气体压力在正常值范围内，所以应对气体压力表加强监视，并及时调整压力。

①每周抄表 1 次，必要时应根据实际情况增加次数。

②为使环境温度与 SF_6 断路器内部气体温度尽可能一致，抄表时间应选择在日温较平坦的一段时间的末尾进行。

③通过抄表能及早发现漏气情况，若发现压力降低或发现有异臭，应立即通知有关专业人员，查明原因，及时处理，否则会使绝缘性能和灭弧能力降低。还应检查气体压力表有无生锈及损伤。

4）检查断路器各部分信道有无漏气声及振动声，有无异臭。若有上述现象，应查明原

因，及时处理。

5）检查声音。倾听金属筒内传出的声音，若金属筒内出现局部放电，就会发出“晰、晰”的类似小雨落在金属外壳上的声音。若断定是内部放电声，则应立即停电解体进行内部检查。若听到的声音与日常巡视听到的电磁声不同时，说明存在螺钉松动等状态变化，需进一步检查。

6）弹簧操动机构的运行检查：①断路器在运行状态，储能电动机的电源开关或熔断器应在投入位置，并不得随意断开。②检查储能电动机，其行程开关触头无卡住和变形，分、合闸线圈无冒烟及异味。③断路器在分闸状态时，分闸连杆应复归，分闸锁扣应钩住，合闸弹簧应储能。④运行中的断路器应每隔 6 个月用万用表检查其操作熔断器的情况。

二、SF_6 断路器的故障处理

1. SF_6 断路器漏气故障

1）现象。SF_6 气体压力表指示值降低，温度补偿式压力开关发出压力低警报，说明 SF_6 断路器漏气。

2）漏气原因。漏气是气体密封性能不良造成的。其漏气部位可能是金属圆筒外壳法兰连接处，气体管道及接头处，断路器本体的动、静触头密封处，紧固螺钉处，引出线附近，铸件存在砂眼及裂缝等缺陷部位。

3）漏气故障处理。年漏气率要求小于 1%，这样可保证长期（如 10 年）不需补气，而且不易进水受潮，运行维护也方便。

若年漏气率超过 1%，便应进行查漏。其检漏方法如下：

1）发泡液法。在气体密封部位涂上发泡液，如发现气泡，就是漏气部位，便可进行修漏或更换部件。

2）压力降法。此法只能检测显著的漏气，即用精密的压力表来测量 SF_6 气体的压力，相隔一定时间（如几天或一星期）再进行复测，根据压力变化来确定 SF_6 气体系统的漏气，所测压力应根据当时温度进行换算。例如，一台 ABB 公司制造的 220kV SF_6 断路器，用此方法找到了在一个灭弧室端帽上有微小的砂眼漏气，更换后消除了漏气。

3）局部定性检漏法。用 SF_6 检漏仪检查所有密封部位，若有漏气，则根据 SF_6 的漏气速度，进行补充 SF_6 气体。

4）定量检测法。用塑料罩把整个设备罩起来，包扎时间不小于 8h，然后用检漏仪分别在上、中、下三点检测 SF_6 气体浓度，取其平均值，从而计算整个设备的年漏气率。

若年漏气率超过规定，则应补充 SF_6 气体，并查漏，消除漏气点。若由于漏气太多而断路器气室内不能保持气压，也应补充 SF_6 气体。

2. SF_6 气体纯度降低

气体纯度是指 SF_6 气体内纯 SF_6 所占的质量百分比，其新气纯度标准为 99.8%，充入设备后为 97%，运行时为 95%。

由于新的 SF_6 气体本身纯度不纯和充气过程不严密，使 SF_6 气体含有水分和氧气等杂质，导致气体纯度降低。当 SF_6 气体的纯度低于标准时，应进行放气，将 SF_6 放入净化装置（不得排向大气），同时进行补充新鲜 SF_6 气体，使 SF_6 气体纯度提高到正常的数值。在充新鲜 SF_6 气体时，应选择好天气进行，且周围环境的相对湿度应小于等于 80%。充气时，若采用液相充气法，应使钢瓶斜置或倒置，以使出口处的 SF_6 气体呈液相状态。

三、断路器自动分合闸故障的检查与处理

1. 断路器自动分闸

如断路器自动分闸而该设备的保护装置未动作，且在分闸时系统中又未发现短路或接地现象，则说明断路器误跳闸，必须查明分闸的原因。

在调查分闸原因时，首先应检查是否属于人员误操作。为此，应调查在分闸时，是否有人靠近断路器的操动机构，或继电保护回路上是否有人工作，致使断路器误分闸。

如果不是误操作，则应检查操动机构是否有故障，如断路器的分闸脱扣机构有毛病，使断路器脱扣，造成断路器自动掉闸。另外，对电磁操动机构，当受到外界振动时断路器自动分闸。这可能是定位螺杆调整不当，使拐臂三点过高；托架弹簧变形，弹力不足；滚轮损坏；托架坡度大、不正或滚轮在托架上接触面少之故。如经检查操动机构正常，则可能是操作回路中发生两点接地而造成断路器自动分闸。

如图4-32所示，在分闸线圈的直流操作回路中，发生a点和b点接地，使直流回路正、负极接地，造成断路器自动分闸，其故障电流方向如图中箭头所示。为此，在配变电所中都要求对操作回路的绝缘状态进行连续监视。当操作回路某一点发生接地时，立即发出信号。为了估计绝缘状态，信号装置上还设有电压。当发现操作回路绝缘水平有所降低时，运行人员必须立即采取措施寻找接地点并消除之。

如经检查操作回路的绝缘状态是良好的，则应对继电保护装置进行检查，以排除保护装置误动作引起的断路器自动分闸。如图4-33所示，在保护回路上发生a点和b点接地，使直流正、负电源接通，造成断路器自动分闸，这相当于继电器动作而使断路器分闸，造成对用户停电。经查明断路器自动分闸原因，处理后恢复送电。

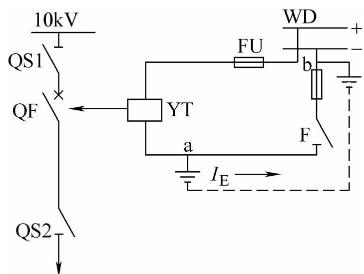


图4-32　直流回路两点接地使断路器分闸

QS1—母线隔离开关　QF—断路器
QS2—线路隔离开关　I_E—接地电流
YT—跳闸线圈　WD—直流母线
FU—熔断器　F—断路器辅助触头

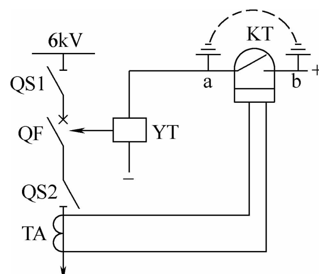


图4-33　直流回路两点接地使断路器误动作

QS1—母线隔离开关　QF—线路断路器
QS2—线路隔离开关　TA—电流互感器
YT—分闸线圈　KT—跳闸闸继电器

2. 断路器自动合闸

线路断路器自动合闸，可能是直流回路中正、负极两点接地，还可能是合闸继电器内某组件故障，继电器动合触头误闭合，使断路器自动合闸。另外，因断路器合闸接触器起动电压较低，当直流系统瞬间发生脉冲时，也会使断路器自动合闸。

当断路器误合闸时，应立即拉开。如已合于短路或接地的线路上时，则保护会动作分闸，但须对断路器及一切通过故障电流的设备进行详细检查。

四、断路器拒绝分合闸故障的检查与处理

1. 断路器拒绝合闸的原因

1）合闸电源消失。

2）就地控制箱内合闸电源小开关未合上。

3）断路器合闸闭锁。

4）断路器操作控制箱内“远方-就地”选择开关在就地位置。

5）控制回路断线。

6）同期回路断线。

7）合闸线圈及合闸回路继电器烧坏。

8）操作继电器故障。

9）控制把手失灵。

2. 断路器拒绝合闸的检查及处理

1）若是合闸电源消失，运行人员可更换合闸回路熔体或试投小开关。

2）试合就地控制箱内合闸电源小开关。

3）将断路器操作控制箱内“远方-就地”选择开关放至远方的位置。

4）若属上述 1. 中 5）、6）、7）、8）、9）的情况应通知专业人员进行处理。

5）当故障造成断路器不能投运时，应按断路器合闸闭锁的方法进行处理。

3. 断路器拒绝分闸的原因

1）分闸电源消失。

2）就地控制箱内分闸电源小开关未合上。

3）断路器分闸闭锁。

4）断路器操作控制箱内“远方-就地”选择开关在就地位置。

5）控制回路断线。

6）同期回路断线。

7）分闸线圈及合闸回路继电器烧坏。

8）操作继电器故障。

9）控制把手失灵。

4. 断路器拒绝分闸的检查及处理

1）若是分闸电源消失，运行人员可更换分闸回路熔体或试投小开关。

2）试合就地控制箱内分闸电源（一般有两套跳闸电源）小开关。

3）将断路器操作控制箱内“远方-就地”选择开关放至远方的位置。

4）若属上述 3. 中 5）、6）、7）、8）、9）的情况应通知专业人员进行处理。

5）当故障造成断路器不能投运时，应按断路器分闸闭锁的方法进行处理。

第十一节　操动机构的运行维护及异常故障处理

一、操动机构的检查

操动机构的作用是使断路器进行分闸、合闸并保持断路器在合闸状态。由于操动机构的性能在很大程度上决定了断路器的性能及质量，因此，对于断路器来说，操动机构是非常重

要的。由于断路器动作是靠操动机构来实现的，操动机构又容易发生故障。因此，巡视检查中，必须引起重视。主要检查项目包括：

1）机构箱门开启灵活，关闭紧密良好。

2）操动机构应固定牢靠，外表应清洁、完整、无锈蚀、连杆、弹簧、拉杆等亦应完整，紧急分闸机构应完好灵活。

3）操动机构与断路器的联动应正常，无卡阻现象；分、合闸指示正确；压力开关、辅助开关动作应准确可靠，触头应无电弧烧损。辅助开关触头应光滑平整，位置正确。

4）端子箱内二次线的端子排完好，无受潮、锈蚀、发霉等现象产生，电缆孔洞应用耐火材料封堵严密。

5）正常运行时，断路器操动机构动作应良好，断路器分、合闸位置与机构指示器及红、绿指示灯状态相符。

6）电气连接应可靠且接触良好。

7）电磁操动机构分、合闸线圈及合闸接触器线圈无冒烟或异味。直流电源回路接线端子无松脱、无铜绿或锈蚀。

8）弹簧操动机构应检查如下几个方面：

①当断路器在合闸运行时，储能电动机的电源刀开关，熔丝应在投入位置。

②当断路器在分闸备用状态时，分闸连杆应复位，分闸锁扣到位，合闸弹簧应在储能位置。

③检查储能电动机，行程开关触头应无卡阻和变形，分、合闸线圈应无冒烟或异味。

④防凝露加热器应良好。

二、操动机构的运行维护

1. 电磁操动机构的维护项目

1）操动机构各转动部分均需加适量的润滑脂，以保证机构动作灵活。

2）检查机构中各部分弹簧、扭簧、轴销、连板、支架、滚轮、拐臂等应无弯曲、变形、磨损，如有损坏应更换。

3）检查操动机构内端子板上的控制线接头螺钉，以防松动。

4）检查合闸铁心应无摩擦卡涩现象；手动操作杠杆的转轴及滚轴应动作灵活，橡皮缓冲垫应无损坏及严重老化现象；上轭铁板的隔磁铜片应完好、紧固。

5）分闸可动铁心应无卡涩摩擦现象，顶杆应为非导磁材料，无形变且端部光滑；自由脱扣应动作正确，拉动“死点”连板，检查各部件应灵活，双连板不应卡定位螺杆和机座。铁心止头螺钉应紧固，分闸铁心的铜套应完整平滑、固定可靠。

6）检查分、合闸线圈及引线的绝缘电阻不应小于2MΩ（用1000V绝缘电阻表测量）。

7）检查合闸接触器各部件应清洁、完整，无油垢、锈蚀等现象。动、静触头应表面平整、接触良好、动作灵活和无烧毛等现象，开距和超行程也应符合要求。

2. 弹簧操动机构的维护项目

1）投运前，应仔细核对各操作元器件的额定电压、额定电流与实际情况是否相符。

2）投运前在各转动部分加适量的润滑油。

3）机构在运行中应定期进行润滑和检查，将松动的螺钉、螺母拧紧，检查并维修行程开关和辅助开关的触头，检查电动机绕组和各分、合闸电磁线圈的绝缘电阻。

4）正常检修时，应将合闸弹簧能量释放。释放合闸弹簧能量的方法可以带断路器进行一次“合-分”闸操作（应先将电动机电源切断，以防再一次储能），也可以在断路器分闸状态下先用手动分闸按钮将半轴和扇形板的扣接打开，然后给合闸信号使合闸弹簧空载释能。

5）机构具有合闸操作的机构联锁，只有当输出轴处于分闸位置时才能进行合闸操作。因此，当机构在未连接断路器而合闸弹簧又已储能时，应首先将输出轴调到分闸位置，而后进行空载释能。

6）检查控制回路是否正常，分、合闸锁扣是否可靠等。

三、操动机构的异常故障处理

1. 电磁操动机构分、合闸线圈冒烟

断路器配用电磁操动机构，其分、合闸线圈由于进行分、合闸操作或继电保护，自动装置动作后，出现分、合闸线圈严重过热、有焦味、冒烟等现象可能是分、合闸线圈长时间带电所造成的。

合闸线圈烧毁的原因主要有合闸接触器本身卡涩或触头粘连；操作把手的合闸触头断不开；重合闸辅助触头粘连；防跳跃闭锁继电器失灵，或常闭触头连接；断路器的常闭辅助触头打不开，或合闸中由于机械原因铁心卡住。

为了防止合闸线圈通电时间过长，在合闸操作中发现合闸接触器“保持”，应迅速拉开操作电源熔丝，或拉开合闸电源（可就近在直流盘上拉一下总电源）。但不得用手直接拉开合闸熔断器，以防合闸电弧伤人。

分闸线圈烧坏的原因主要有分闸传动时间过长，分、合闸次数多（包括重合闸失败再跳闸）。断路器分闸后，机构的常开辅助触头打不开，或由于机械原因分闸铁心卡住，使分闸线圈长时间带电。

2. 弹簧操动机构运行中的异常及处理

1）在断路器合闸瞬间，“弹簧未压紧”光字牌示警瞬时亮，之后不亮，应查明原因。若常亮或熄灭后又亮，则应迅速切断交流合闸电源，然后查明原因，如检查熔丝是否正常，故障应设法消除，再予以储能。若无法消除和储能，又要求立即送电，或当储能电动机损坏时，均可手动储能将断路器合闸。但合闸后，还应再一次手动储能，供投入重合闸需要。

2）手动储能前，应拉开储能电源刀开关或熔丝，储能完毕，应将手柄取下，报告工段（区），检查处理。

3）断路器在合闸过程中如出现“拒合”（绿灯未闪光、弹簧未释放）时，应立即拉开操作电源，防止合闸线圈长期通电而烧坏。

4）当弹簧操动机构出现储能完毕，合闸锁扣滑扣而空合时，将使弹簧再一次储能，甚至出现连续储能现象，此时应立即拉开电动机电源刀开关，检查原因。

5）断路器在进行维修前，应先拉开储能电源刀开关，然后进行一次“合-分”操作。将合闸弹簧释能，以保证工作安全（应在断路器冷备用或检修状态下进行释能）。

第十二节　电气设备倒闸操作

一、倒闸操作设备状态

配电所的主变压器、高低压电气设备，常用停送电、检修或事故处理，需将电气设备由

某种运行状态转换到另一种运行状态。

1. 运行状态

配电系统的断路器及隔离开关都在合上位置，将电源至受电端电路接通，配电所的电气设备处在运行状态，如图 4-34 所示。

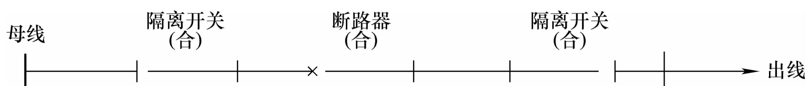


图 4-34　电气设备运行状态

2. 热备用状态

配电所的电气设备，由断路器断开，而隔离开关仍在合上位置，称为电气设备热备用，如图 4-35 所示，断路器一经合闸后，电气设备便转为运行状态。

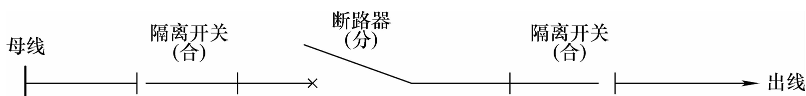


图 4-35　电气设备热备用状态

3. 冷备用状态

配电系统中的断路器及隔离开关均在断开位置，而母线处在带电状态，如图 4-36 所示。

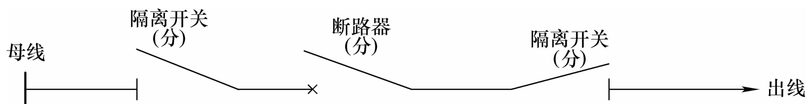


图 4-36　电气设备冷备用状态

电气设备冷备用状态时，电气设备的检修工作已全部结束，有关检修临时安全措施已经全部拆除，恢复常设安全措施，配电回路的电源和所有的操作电源仍断开，设备具备一切投入运行的条件。

4. 检修状态

电气设备检修状态指检修设备各方面的电源及所有操作电源均已断开，并做好合接地隔离开关或挂接地线，悬挂标示牌、设备临时遮拦等安全措施，如图 4-37 所示。

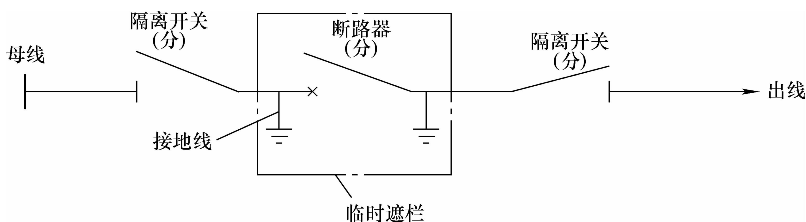


图 4-37　电气设备检修状态

二、电气设备运行状态之间倒换典型操作

根据生产需要，需要经常将设备从一种状态倒换到另一种状态，电气设备四种状态之间相互倒换的典型操作见表 4-20。

表 4-20 电气设备运行状态之间倒换

设备状态	倒换后状态			
	运 行	热备用	冷备用	检 修
运行		1）拉开必须切断的断路器 2）检查所切断的断路器处在断开位置	1）拉开必须切断的断路器 2）检查所切断的断路器处在断开位置 3）拉开必须断开的全部隔离开关 4）检查所拉开的隔离开关处在断开位置	1）拉开必须切断的断路器 2）检查所切断的断路器处在断开位置 3）拉开必须断开的全部隔离开关 4）检查所拉开的隔离开关处在断开的位置 5）挂上保护用临时接地线或合上接地开关 6）检查合上的接地开关处在接通位置
热备用	1）合上设备所必需的断路器 2）检查所合上的断路器处在接通位置		1）检查所拉开的断路器处在断开位置 2）拉开必须断开的全部隔离开关 3）检查所拉开的隔离开关处在断开位置	1）检查所拉开的断路器处在断开位置 2）拉开必须断开的全部隔离开关 3）检查所拉开的隔离开关处在断开位置 4）挂上保护用临时接地线或合上接地开关 5）检查所合上的接地开关处在接通位置
冷备用	1）检查全部接线 2）检查所断开的断路器处在拉开的位置 3）合上必须合上的全部隔离开关 4）检查所合上的隔离开关在接通位置，合上必须合上的断路器 5）检查所合上的断路器处在接通位置	1）检查全部接线 2）检查所断开的断路器处在拉开位置 3）合上必须合上的全部隔离开关 4）检查所合上的隔离开关在接通位置		1）检查所断开的断路器处在断开位置 2）检查全部隔离开关处在断开位置 3）挂上保护用临时接地线或合上接地开关 4）检查所合上的接地开关处在接通位置

（续）

设备状态	倒换后状态			
	运　行	热备用	冷备用	检　修
检修	1）拆除全部保护用临时接地线或拉开接地开关 2）检查所拉开的接地开关在断开的位置 3）检查所断开的断路器处在断开的位置 4）合上必须合上的全部隔离开关 5）检查所合上的隔离开关在接通位置 6）合上必须合上的断路器 7）检查所合上的断路器处在接通位置	1）拆除全部保护用临时接地线或拉开接地开关 2）检查所拉开的接地开关在断开的位置 3）检查所断开的断路器处在断开的位置 4）合上必须合上的全部隔离开关 5）检查所合上的隔离开关在接通位置	1）拆除全部保护用临时接地线或拉开接地开关 2）检查所拉开的接地开关在断开的位置 3）检查所断开的断路器处在断开位置 4）检查所断开的隔离开关在断开的位置	

注：设备转入“检修状态”时挂上标示牌，装设临时遮栏等安全措施虽未载明在表内，但仍须按照电业安全工作规程的规定执行，拆除时间。

三、倒闸操作术语

在倒闸操作时，要应用统一的倒闸操作术语，见表4-21。

表4-21　倒闸操作术语

被操作设备	术　语	被操作设备	术　语
环状网络	合环、解环	继电保护	投入、退出、动作
联络线	并列、解列、充电	自动装置	投入、退出、动作
变压器	运行、备用、充电	熔断器	装上、取下
断路器	合上、断开、跳闸、重合	接地线	装上、拆除
隔离开关	合上、拉开	有功、无功	增加、减少

四、倒闸操作的一般规定

1）倒闸操作必须得到相应级别调度和值长的命令才能进行。

2）执行操作票和单项操作，均应在模拟图上进行模拟操作，以核对操作票操作顺序正确无误。

3）设备送电前，必须终结全部工作票，拆除接地线及一切与检修工作有关的临时安全措施，恢复固定遮栏及常设警告牌。对送电设备一次回路进行全面检查应正常，摇测设备绝缘电阻应合格。

4）设备投入运行（或备用）前，其保护必须先投入。

5）装有同期合闸的断路器，必须进行同期合闸，仅在断路器一侧无电压进行充电操作时，才允许合上同期闭锁SA开关解除同期闭锁回路。

6）检修过的断路器送电时，必须进行远方跳合闸试验，远方电动合闸的断路器，不允许带工作电压手动合闸。运行中的小车断路器不允许解除机械闭锁手动分闸。

倒闸操作可以通过就地操作、遥控操作、程序操作完成。遥控操作、程序操作的设备应满足有关技术条件。

五、倒闸操作的分类

1. 监护操作

监护操作指由两人进行同一项的操作。监护操作时，其中一个对设备较为熟悉者为监护人。特别重要和复杂的倒闸操作，由熟练的运行人员操作，运行值班负责人监护。

2. 单人操作

单人操作指由一人完成的操作。

1）单人值班的变电站操作时，运行人员根据发令人用电话传达的操作指令填用操作票，复诵无误。

2）实行单人操作的设备、项目及运行人员需经设备运行管理单位批准，人员应通过专项考核。

3. 检修人员操作

检修人员操作指由检修人员完成的操作。

1）经设备运行管理单位考试合格、批准的本企业的检修人员，可进行220kV及以下的电气设备由热备用至检修或由检修至热备用的监护操作，监护人应是同一单位的检修人员或设备运行人员。

2）检修人员进行操作的接、发令程序及安全要求应由设备运行管理单位总工程师（技术负责人）审定，并报相关部门和调度机构备案。

六、倒闸操作的基本要求

1）停电拉闸操作应按照断路器、负荷侧隔离开关、电源侧隔离开关的顺序依次进行，送电合闸操作应按与上述相反的顺序进行。严禁带负荷拉合隔离开关。

2）开始操作前，应先在模拟图（或微机防误装置、微机监控装置）上进行核对性模拟预演，无误后，再进行操作。操作前应先核对设备名称、编号和位置，操作中应认真执行监护复诵制度（单人操作时也应高声唱票），宜全过程录音。操作过程中应按操作票填写的顺序逐项操作。每操作完一步，应检查无误后做一个“✓”记号，全部操作完毕后进行复查。

3）监护操作时，操作人在操作过程中不得有任何未经监护人同意的操作行为。

4）操作中发生疑问时，应立即停止操作并向发令人报告。待发令人再行许可后，方可进行操作。不准擅自更改操作票，不准随意解除闭锁装置。

解锁工具（钥匙）应封存保管，所有操作人员和检修人员严禁擅自使用解锁工具（钥匙）。若遇特殊情况，应经值班调度员、值长或站长批准，方能使用解锁工具（钥匙）。单人操作、检修人员在倒闸操作过程中严禁解锁。如需解锁，应待增派运行人员到现场后，履行批准手续后处理。解锁工具（钥匙）使用后应及时封存。

5）用绝缘棒拉合隔离开关或经传动机构拉合断路器和隔离开关，均应戴绝缘手套。雨天操作室外高压设备时，绝缘棒应有防雨罩，还应穿绝缘靴。接地网电阻不符合要求的，晴天也应穿绝缘靴。雷电时，一般不进行倒闸操作，禁止在就地进行倒闸操作。

6）装卸高压熔断器，应戴护目眼镜和绝缘手套，必要时使用绝缘夹钳，并站在绝缘垫

或绝缘台上。

7）断路器开断能力应满足电网要求。如开断能力不够，应将操作机构用墙或金属板与该断路器隔开，应进行远方操作，重合闸装置应停用。

8）电气设备停电后（包括事故停电），在未拉开有关隔离开关和做好安全措施前，不得触及设备或进入遮栏，以防突然来电。

9）单人操作时不得进行登高或登杆操作。

10）电气设备操作后的位置检查应以设备实际位置为准，无法看到实际位置时，可通过设备机械位置指示、电气指示、仪表及各种遥测、遥信信号的变化，且至少应有两个及以上指示已同时发生对应变化，才能确认该设备已操作到位。

11）在发生人身触电事故时，为了抢救触电人，可以不经许可，即行断开有关设备的电源，但事后应立即报告调度和上级部门。

七、倒闸操作的基本原则

电气运行人员在进行倒闸操作时，应遵守下列基本原则：

1. 停送电操作原则

1）拉、合隔离开关及小车断路器送电之前，必须检查并确认断路器在断开位置（倒母线例外，此时母联断路器必须合上）。

2）严禁带负荷拉、合隔离开关，所装电气和机械防误闭锁装置不能随意退出。

3）停电时，先断开断路器，后拉开负荷侧隔离开关，最后拉开电源侧隔离开关；送电时，先合上电源侧隔离开关，再合上负荷侧隔离开关，最后合上断路器。

4）在操作过程中，发现误合隔离开关时，不准把误合的隔离开关再拉开；发现误拉隔离开关时，不准把已拉开的隔离开关重新合上。因为隔离开关无灭弧装置，若带负荷接通或断开电路，将会在其触头之间产生电弧，引起三相短路事故。

2. 母线倒闸操作原则

1）母线送电前，应先将该母线的电压互感器投入；母线停电前，应先将该母线上的所有负荷转移完后，再将该母线的电压互感器停止运行。

2）母线充电时，必须用断路器进行，其充电保护必须投入，充电正常后应停用充电保护。

3）倒母线操作时，母联断路器应合上，确认母联断路器已合好后，再取下其控制熔断器，然后进行母线隔离开关的切换操作。母联断路器断开前，必须确认负荷已全部转移，母联断路器电流表指示为零，再断开母联断路器。

3. 变压器操作原则

双绕组变压器停送电操作顺序：送电时，应先送电源侧，后送负荷侧；停电时，操作顺序应与此相反。

八、倒闸操作的基本步骤

1. 正常情况倒闸操作的基本步骤

1）接受任务。当系统调度员下达操作任务时，操作前，预先用电话或传真将操作票（包括操作目的和项目）下达给发电厂的值长或变电站的值班长。值长或值班长接受操作任务时，应将下达的任务复诵一遍，并将电话录音或传真件妥善保管。当发电厂的值长向电气值班长或变电站的值班长向值班员下达操作任务时，要说明操作目的、操作项目、设备状

态。接受任务者接到操作任务后，复诵一遍，并记入操作记录本中。电气值班长向值班员（操作人、监护人）下达操作任务时，除了上述要求外，还应交代安全事项。

2）填写操作票。值班长接受操作任务后，立即指定监护人和操作人，操作票由操作人填写。如果单项操作任务的操作票已输入计算机，则根据操作任务由计算机开出操作票。

填写操作票的目的是拟定具体的操作内容和顺序，防止在操作过程中发生顺序颠倒或漏项。

3）审核操作票。操作票填写好了以后，必须经过以下三次审查：

①自审，由操作票填写人自己审查。

②初审，由操作监护人审查。

③复审，由值班负责人（值班长、值长）审查，特别重要的操作票应由技术负责人审查。

审票人应认真检查操作票的填写是否有漏项、操作顺序是否正确、操作术语使用是否正确、内容是否简单明了、有无错漏字等。三审无误后，各审核人均在操作票上签字，操作票经值班负责人签字后生效。正式操作待系统调度员或值长（值班长）下令后执行。

4）接受操作命令。正式操作必须有系统调度员或值长（值班长）发布的操作命令。系统调度员发布操作命令时，监护人、操作人同时受令，并由监护人按照填写的操作票向发令人复诵，经双方核对无误后，在操作票上填写发令人、受令人姓名和发令时间；值长（值班长）发布操作命令时，监护人、操作人同时受令。监护人、操作人接到操作命令后，值长（值班长）、监护人、操作人均在操作票上签名，并记录发令时间。

5）模拟操作。正式操作之前，监护人、操作人应先在模拟图板上按照操作票上所列项目和顺序进行模拟操作，监护人按操作票的项目顺序唱票，操作人复诵后在模拟图板上进行操作，最后一次核对检查操作票的正确性。

6）正式操作。电气设备倒闸操作必须由两人进行，即一人操作，一人监护。监护人一般由技术水平较高、经验较丰富的值班员担任，操作人应由熟悉业务的值班员担任。特别重要和复杂的倒闸操作应由熟练的值班员操作，值班负责人监护。

操作监护人和操作人做好了必要的准备工作后，携带操作工具进入现场进行正式的设备操作。操作设备时，必须执行唱票、复诵制度。每进行一项操作，其程序是：唱票—对号—复诵—核对—下命—操作—复查—做执行记号“✓”。具体地说，就是每进行一项操作，监护人按照操作票项目先唱票，然后操作人按照唱票项目的内容，查对设备名称、编号、自己所处位置、操作方向（即四个对照），确定无误后，手指所要操作的设备（即对号），复诵操作命令。监护人听到操作人复诵的操作令后，再次核对设备名称、编号无误，最后下令：“对，执行”。操作人听到监护人的“对，执行”的动令后方可进行操作。操作完一项后，复查该项，检查该项操作结果和正确性，如断路器实际分、合位置，机械指示，信号指示灯、表计变化情况等。并在操作票上该项编号前做一个记号“✓”。按上述操作程序，依次操作后续各项。

7）复查设备。一张操作票操作完毕，操作人、监护人应全面复查一遍，检查操作过的设备是否正常，仪表指示、信号指示、联锁装置等是否正常，并总结本次操作情况。

8）操作汇报。操作结束后，监护人应立即向发令人汇报操作情况、结果、操作起始和结束时间，经发令人认可后，由操作人在操作票上盖“已执行”图章。

9）操作记录。监护人将操作任务、起始和终结时间记入操作记录本中。

2. 事故时的操作

在处理事故时，为了迅速切除故障，限制事故的发展，迅速恢复供电，并使系统频率、电压恢复正常，可以不用操作票进行操作，但需遵守相关安全工作规程的有关规定。事故处理后的一切善后操作，仍应按正常情况倒闸操作步骤进行。

九、倒闸操作票的填写方法和填写项目

1. 操作票的填写方法

填写操作票时，根据下达的操作任务，按照统一的操作术语，对照电气主接线模拟图和考虑电气主接线的实际运行方式，认真、细致地填写操作票。其具体填写方法如下：

1）每份操作票只能填写一个操作任务。一个操作任务系指根据同一个操作命令，且为了相同的操作目的而进行一系列相互关联的、不间断的、依次进行的倒闸操作的过程。如一台机组的启、停操作，一台变压器的停、送电操作，变压器的切换操作，倒母线操作，几回线路依次进行停、送电操作，几个用电部分依次进行停、送电操作等，均可填用一份操作票。

2）操作票应用钢笔或圆珠笔逐项填写，用计算机开出的操作票应与手写格式一致。操作票票面应清楚、整洁，不得任意涂改。操作人和监护人应根据模拟图或接线图核对所填写的操作项目，并分别签名，然后经运行值班负责人（检修人员操作时由工作负责人）审核签名。每张操作票只能填写一个操作任务。

3）填写时，在操作票上应先填写编号并按编号顺序使用。

4）操作票应填写设备的双重名称，即设备的名称和编号。

5）一个操作任务所填写的操作票超过一页时，续页操作顺序号应连续。续页操作任务栏填“续前”，首页填操作开始和结束时间，每页有关人员均应签名。

6）操作票填写完毕，经审核正确无误后，在操作顺序最后一项后的空白处打终止号或写“操作结束”，表示以下无任何操作。

2. 操作票的填写项目

下列各项应作为单独项目填人操作票：

1）应开、合的断路器，如断开××线路×××断路器，合上××线路×××断路器。

2）检查断路器分、合情况，如检查××线路×××断路器已合好。

3）应拉、合的隔离开关，如拉开××线路×××隔离开关。

4）检查隔离开关分、合情况，如检查××线路×××隔离开关已拉开。

5）操作前的检查项目。检查设备的运行位置状态，作为单独项目填入操作票。其目的是防止误操作，如检查××线路×××断路器在分闸位置，检查××线路×××隔离开关在断开位置。

6）检查送电范围内是否遗留有接地线，如检查送电变压器各侧一次回路无接地线（或无接地隔离开关）作为单独项目填入操作票，其目的是防止带地线合闸。

7）验电和装、拆接地线。填写操作票时，一定要写明验电和装、拆接地线的地点及编号（或拉、合接地隔离开关的编号）。如验明Ⅰ段母线无电压后，在工段母线上装设一组3号接地线；又如验明××线路无电后，合上××线路的线路侧××接地隔离开关。

8）检查负荷的转移情况（检查仪表指示）。两回并列运行的回路，当停下其中的一回

路时，应检查负荷的转移情况。如用旁路断路器代替线路断路器运行时，当操作到旁路断路器与线路断路器并列时，先检查两断路器的负荷分配，断开线路断路器后，检查该线路的仪表指示应正常。

9）取下或装上熔断器。如装上××线路×××断路器的控制熔断器。

10）停用或投入继电保护的保护连接片（包括同时停用或投入多个保护连接片）。若一项中有同时停用或投入多个保护连接片，操作时，每操作完一个连接片，应在该连接片编号前打“✓”。如投入联络线 84 断路器的保护连接片✓1XB、✓2XB。

十、倒闸操作举例

1. 10kV 线路由运行状态转为检修状态

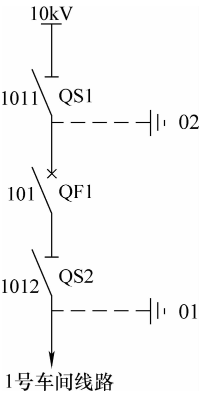
10kV1 号车间线路，由运行状态转为检修状态的操作票见表 4-22。

表 4-22　×××配电所倒闸操作票

单位：×××	编号：×××
发令人：×××　　接令人：×××	发令时间：××××年××月××日××时××分
操作开始时间：	操作结束时间：
××××年××月××日××时××分	××××年××月××日××时××分
（✓）监护下操作	

操作任务：10kV1 号车间线路由运行到检修

10kV1 号车间线路停送电操作接线如下图所示



顺序	操　作　项　目	✓
1	拉开 101 断路器	✓
2	检查 101 断路器确实已拉开	✓
3	拉开 1012 隔离开关	✓
4	检查 1012 隔离开关确实已拉开	✓
5	拉开 1011 隔离开关	✓
6	检查 1011 隔离开关确实已拉开	✓
7	在 1012 隔离开关出线侧，验明无电	✓
8	在 1012 隔离开关出线侧挂接地线一组，编号 01。	✓
9	在 1011 隔离开关出线侧，验明无电	✓

（续）

顺序	操　作　项　目	✓
10	在 1011 隔离开关出线侧挂接地线一组，编号 02。	✓
11	在 101 断路器、1011 隔离开关、1012 隔离开关的操作把手上挂“禁止合闸，线路有人工作”的标示牌。	✓
12	操作结束。	✓
操作人：（签字）　监护人：（签字）　值班负责人（值长）：（签字）		

2. 10kV 线路由检修状态转为运行状态

10kV1 号车间线路，由检修状态转为运行状态的操作票见表 4-23。

表 4-23　×××配电所倒闸操作票

单位：×××		编号：×××
发令人：×××	接令人：×××	发令时间：××××年××月××日××时××分
操作开始时间：		操作结束时间：
××××年××月××日××时××分		××××年××月××日××时××分
（✓）监护下操作		
操作任务：10kV1 号车间线路从检修转为运行		

顺序	操　作　项　目	✓
1	收回 10kV1 号车间线路的检修工作票	✓
2	拆除 1012 隔离开关出线侧编号 01 接地线等安全措施	✓
3	拆除 1011 隔离开关出线侧编号 02 接地线等安全措施	✓
4	检查 101 断路器确在断开位置	✓
5	合上 1011 隔离开关	✓
6	检查 1011 隔离开关确实已经在合闸位置	✓
7	合上 1012 隔离开关	✓
8	检查 1012 隔离开关，确实已经在合闸位置	✓
9	合上 101 断路器	✓
10	检查 101 断路器，确实已经在合闸位置	✓
11	操作结束	✓
操作人：（签字）　监护人：（签字）　值班负责人（值长）：（签字）		

第五章　低压成套配电装置

第一节　配电柜的型号选择

一、概述

低压成套配电柜，将低压电路所需的开关设备、测量仪表、保护装置和辅助设备等，按一定的接线方案安装在金属柜内构成的一种组合式电气设备，用以进行控制、保护、计量、分配和监视等。在城乡电网配电所中，额定电压0.4kV及以下的配电、动力、照明之用。

二、GGD型低压固定式开关柜

1. 简介

GGD型交流低压配电柜适用于发电厂、配电所、厂矿企业等电力用户的交流50Hz、额定工作电压380V、额定工作电流至3150A的配电系统，作为动力、照明及配电设备的电能转换，分配与控制之用。

GGD型交流低压配电柜符合IEC 60439-1AMD1—2004《低压成套开关设备和控制设备组合装置　第1部分：已通过型式试验和部分型式试验的装置》，GB 7251.1—2005《低压成套开关设备和控制设备　第1部分：型式试验和部分型式试验　成套设备》等标准。

2. 技术参数

GGD型低压固定式开关柜技术参数见表5-1。

表5-1　GGD型低压固定式开关柜技术参数

序　号	名　称		技术参数		
1	型号		GGD1	GGD2	GGD3
2	额定电压/V		380	380	380
3	额定电流/A	A	1000	1600	3150
		B	630	1000	2500
		C	400		2000
4	额定短路开断电流/kA		15	30	50
5	额定短时耐受电流(1s)/kA		15	30	50
6	额定峰值耐受电流/kA		30	63	105
7	防护等级			IP20 ~ IP40	

三、GBD型低压固定分隔式开关柜

1. 简介

GBD型交流低压固定分隔式开关柜适用于发电厂、配电所、石油化工部门、厂矿企业，

高层建筑等低压配电系统的动力，配电和电动机控制中心，电容补偿等的电能转换，分配和控制用。

开关柜是我厂根据广大电力用户及设计部门的要求，开关分隔成各功能单元插入式开关固定安装，接触可靠、分断接通能力高、动热稳定性能好、电气方案灵活、组合方便、系列性、实用性强、结构新颖、防护等级高等特点。没有因接插件接触不良而引起发热故障。

2. 技术参数

GBD 型低压固定分隔式开关柜技术参数见表 5-2。

表 5-2　GBD 型低压固定分隔式开关柜技术参数

序号	名　　称	技术参数	序号	名　　称	技术参数
1	额定绝缘电压/V	660(1000)	6	水平母线额定电流/A	≤4000
2	额定工作电压/V	交流 380(660)	7	垂直母线额定电流/A	≤2000
3	辅助电路/V	交流 380(220)	8	额定峰值耐受电流(0.1s)/kA	105、176
4	辅助电路/V	直流 220(110)	9	额定短时耐受电流(1s)/kA	50、80
5	额定频率/Hz	50(60)			

四、MNS 型低压抽出式开关柜

1. 简介

MNS 型低压抽出式开关柜是一种用标准模件，由工厂组装的组合式低压开关柜，本装置适用于交流 50～60Hz，额定工作电压为 660V 及以下的供电系统用于发电、输电、配电、电能转换和电能消耗设备的控制。

本装置符合 IEC439、VDE660 第 5 部分和 GB 7251.1—2005 等标准。

2. 技术参数

MNS 型低压抽出式开关柜技术参数见表 5-3。

表 5-3　MNS 型低压抽出式开关柜技术参数

序　　号	名　　称	技 术 参 数
1	额定绝缘电压/V	660V
2	额定工作电压/V	380V,660V
3	主母线最大工作电流 A	5500A(IP00)
		4700A(IP30)
4	主母线短时(1s)耐受电流/kA	100kA(有效值)
5	主母线短时峰值电流/kA	250kA(最大值)
6	配电母线(垂直母线)最大工作电流/A	1000A
7	配电母线(垂直母线)短时峰值电流/kA	标准型 90kA(最大值)
		加强型 130kA(最大值)

MNS 型低压抽出式开关柜防护等级符合 IEC529 \ DIN40050 标准。IP30 对大于 ϕ2.5mm

固体防护，IP40 对大于 ϕ1.0mm 固体防护，IP54 对尘埃和任意方向喷溅作防护。

五、GCK 型低压抽出式开关柜

1. 简介

GCK 低压抽出式开关柜由动力配电中心（PC）柜和电动机控制中心（MCC）二部分组成，适用于发电厂、变电站、工矿企业等电力用户作为交流 50Hz，最大工作电压至 660V，最大工作电流至 3150A 的配电系统中，作为动力配电、电动机控制及照明等配电设备的电能转换分配控制之用。本系列产品具有分断能力高，动热稳定性能好，结构先进、合理，电气方案单元任意组合，一台柜体所容纳的回路较多，节省占地面积，外形美观，防护等级高，安全可靠，维护方便等优点。

产品符合 IEC60439、GB 7251.1—2005 等标准。

2. 技术参数

GCK 型低压抽出式开关柜技术参数见表 5-4。

表 5-4　GCK 型低压抽出式开关柜技术参数

序　号	名　称		技术参数
1	额定工作频率/Hz		50
2	额定工作电压/V		380、660
3	额定绝缘电压/V		660
4	额定工作电流/A	水平母线	630～3150
		垂直母线	600
5	额定短时耐受电流/kA(1s)	水平母线	80(有效值)
		垂直母线	50(有效值)
6	额定峰值耐受电流/kA	水平母线	176
		垂直母线	110
7	主电路接插件/kA	200、400	
8	辅助电路接插件/A	10	
9	工频耐压(1min)/V	2500	
10	控制电机最大容量/kW	155	
11	防护等级	IP40	
12	操作方式	就地、远方、自动	

六、GCS 型低压抽出式开关柜

1. 简介

GCS 型低压抽出式开关柜适用于发电厂、石油、化工、冶金、纺织、高层建筑等行业的配电系统。在大型发电厂、石化系统等自动化程度高，要求与计算机接口的场所，作为三相交流频率为 50（60）Hz、额定工作电压为 380V（400）、（600），额定电流为 4000A 及以下的发、供电系统中的配电、电动机集中控制、无功功率补偿使用的低压成套配电装置。

该产品符合 GB 7251.1—2005 及 IEC60439-1—AMD1—2004 等标准。

2. 技术参数

GCS 型低压抽出式开关柜技术参数见表 5-5。

表 5-5　GCS 型低压抽出式开关柜技术参数

序号	名　称	技术参数	序号	名　称	技术参数
1	额定工作电压/V	交流 380(660)	5	水平母线额定电流/A	≤4000
2	主电路/V	交流 380,220	6	垂直母线额定电流/A	1000
3	辅助电路/V	直流 110、220	7	额定峰值耐受电流/kA	105(176)
4	频率/Hz	50(60)	8	额定短时耐受电流/kA	50(80)

第二节　低压配电柜的安装

一、安装尺寸

1. 配电柜安装前后的通道

低压配电柜安装前后的通道最小宽度见表 5-6。

表 5-6　低压配电柜安装前后的通道最小宽度　（单位：m）

配电屏种类		单排布置			双排面对面布置			双排背对背布置			多排同向布置		
		屏前	屏后		屏前	屏后		屏前	屏后		屏间	前、后排屏距墙	
			维护	操作		维护	操作		维护	操作		前排	后排
固定式	不受限制时	1.5	1.0	1.2	2.0	1.0	1.2	1.5	1.5	2.0	2.0	1.5	1.0
	受限制时	1.3	0.8	1.2	1.8	0.8	1.2	1.3	1.3	2.0	2.0	1.3	0.8
抽屉式	不受限制时	1.8	1.0	1.2	2.3	1.0	1.2	1.8	1.0	2.0	2.3	1.8	1.0
	受限制时	1.6	0.8	1.2	2.0	0.8	1.2	1.6	0.8	2.0	2.0	1.6	0.8

2. 低压配电室土建工艺尺寸

低压配电室土建工艺尺寸如图 5-1 所示。

3. 基础型钢安装的允许偏差

基础型钢安装的允许偏差见表 5-7。

基础型钢安装后，其顶部宜高出抹平地面 10mm；手车式成套柜按产品技术要求执行。

4. 固定式配电柜的安装尺寸

GGD2 型固定式配电柜的安装尺寸如图 5-2 所示。

5. 抽出式配电柜的安装尺寸

GCS 型抽出式配电柜的排列如图 5-3 所示。

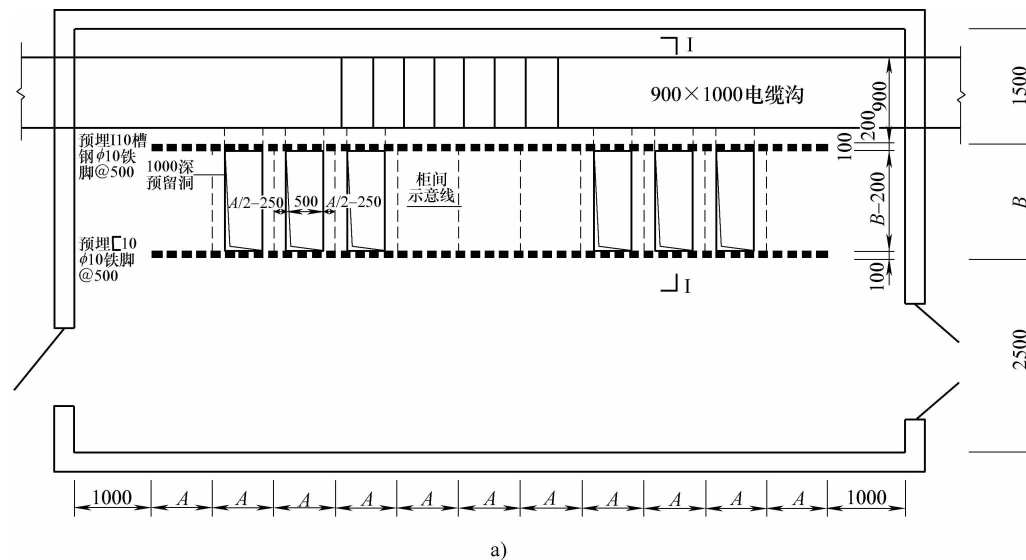


图 5-1　低压配电室土建工艺尺寸

a）土建平面图

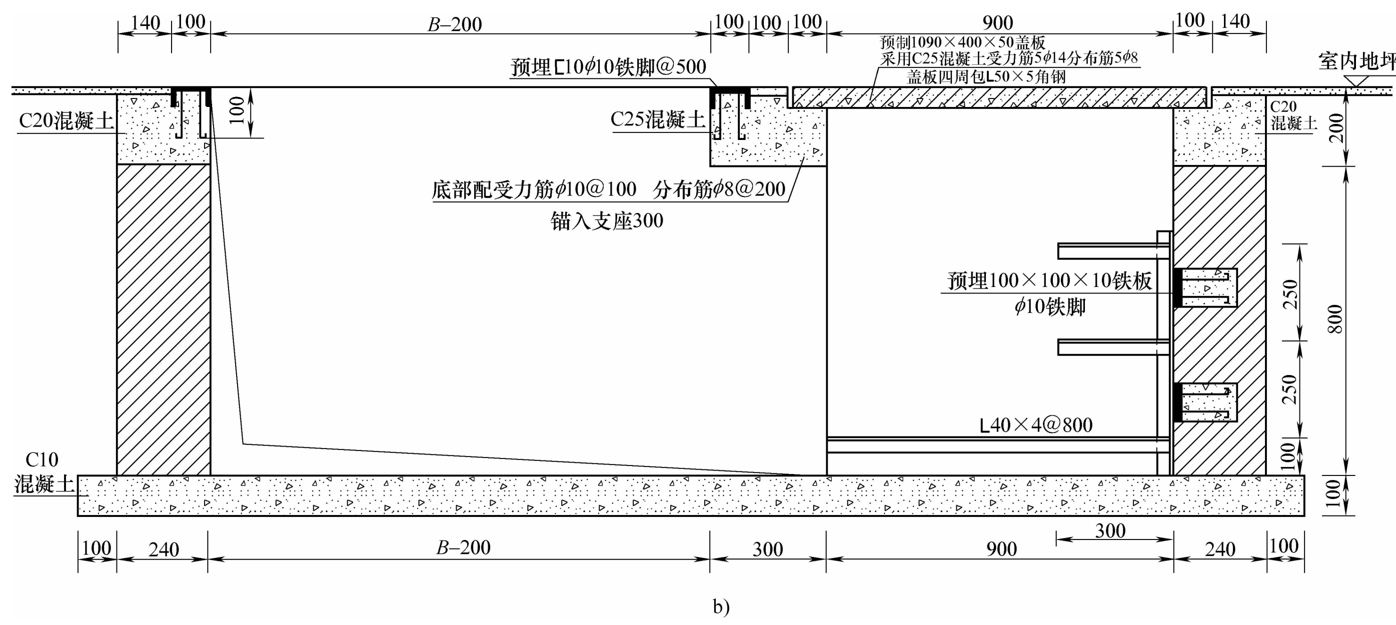


图 5-1 低压配电室土建工艺尺寸（续）

b） Ⅰ-Ⅰ视图

表 5-7　基础型钢安装的允许偏差

项　　目	允 许 偏 差	
	mm/m	mm/全长
不直度	<1	<5
水平度	<1	<5
位置误差及不平行度		<5

a)

b)

图 5-2　GGD2 型固定式配电柜的安装尺寸图

a）单列布置　b）双列布置

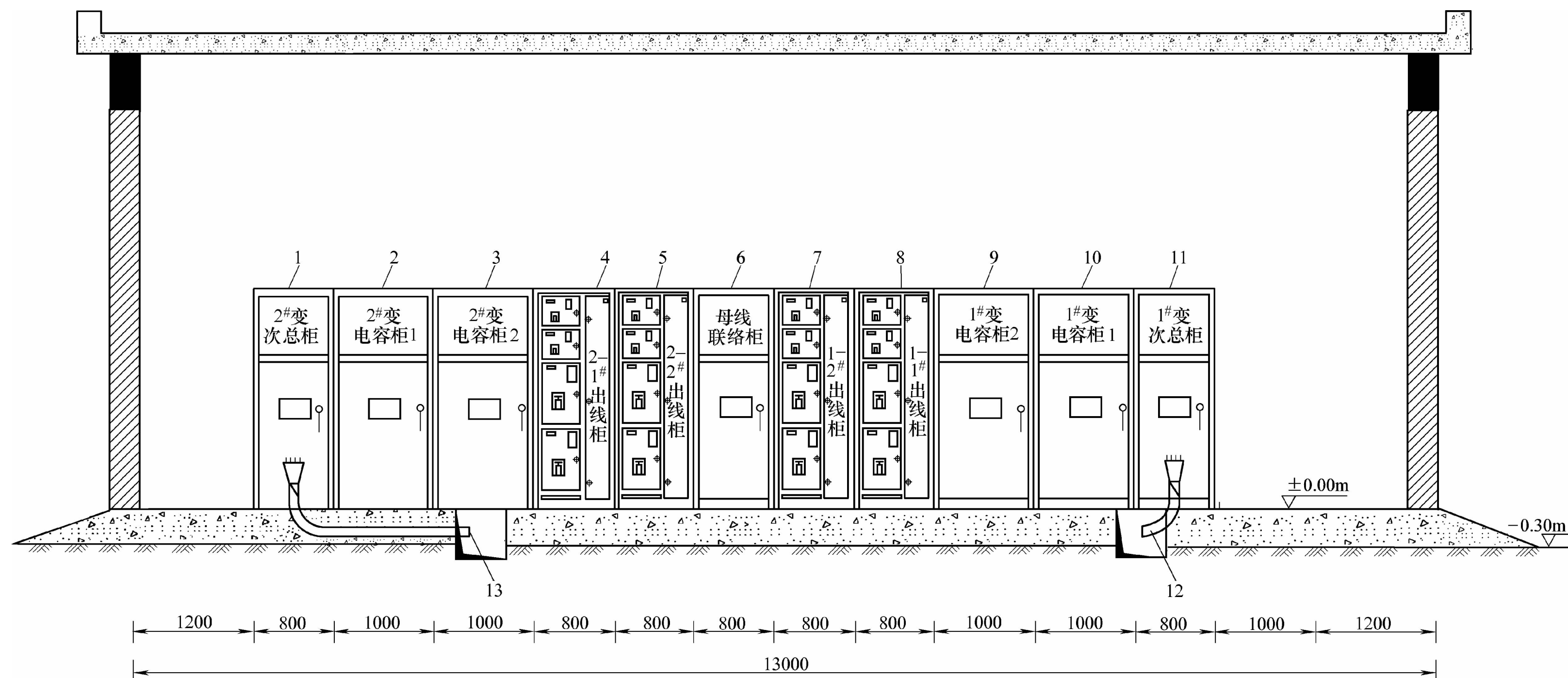


图 5-3　GCS 型抽出式配电柜的排列

1—2#变次总柜　2—2#变电容柜 1　3—2#变电容柜 2　4—2#变出线柜 1　5—2#变出线柜 2　6—母线联络柜　7—1#变出线柜 2
8—1#变出线柜 1　9—1#变电容柜 2　10—1#变电容柜 1　11—1#变次总柜　12—1#变进线电缆　13—2#变进线电缆

GCS（MCC）配电柜的安装示意如图5-4所示，安装尺寸见表5-8。

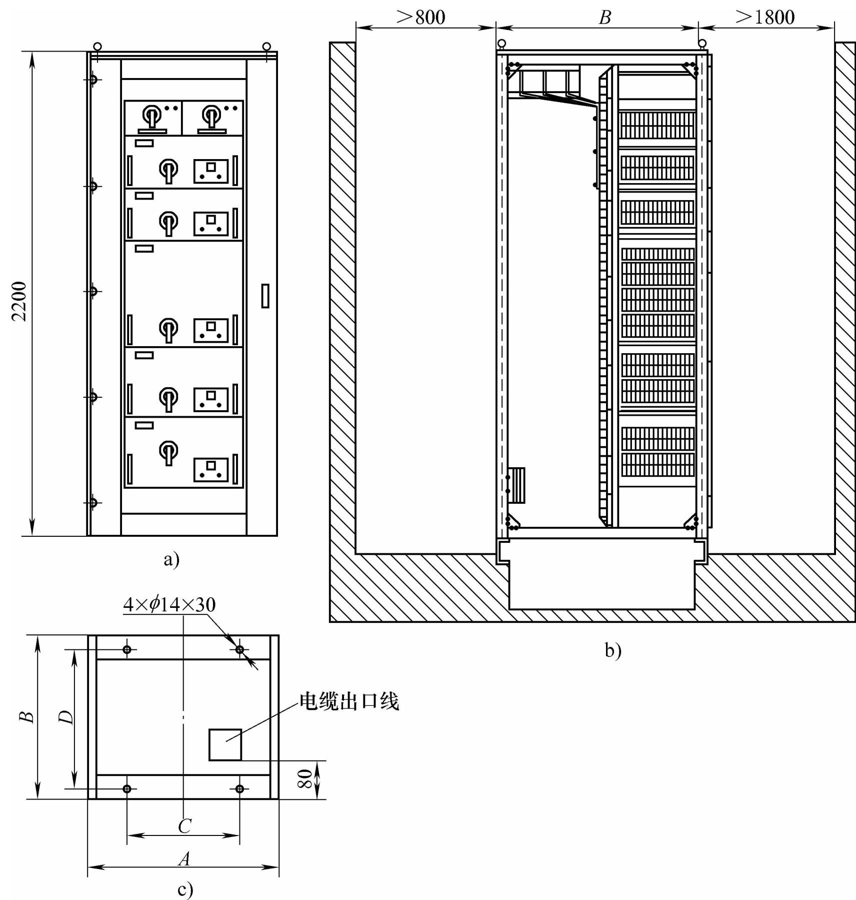


图5-4　GCS（MCC）配电柜的安装示意图
a）正视图　b）剖视图　c）底脚尺寸

表5-8　GCS（MCC）配电柜的安装尺寸

通用柜代号	A/mm	B/mm	C/mm	D/mm
GCS/D、K、L	1000	1000	900	900
GCS/D、K、L	800	600	700	500

注：封闭式结构宽度（A）和深度（B）各增加100mm。

GCS（PC）动力柜的安装示意如图5-5所示，安装尺寸见表5-9。

表5-9　GCS（PC）动力柜的安装尺寸

通用柜代号	A/mm	B/mm	C/mm	D/mm
GCS/D、K、L	1000	1000	900	900
GCS/D、K、L	800	1000	700	900
GCS/D、K、L	800	800	700	700
GCS/D、K、L	800	800	700	700

注：封闭式结构宽度（A）和深度（B）各增加100mm。

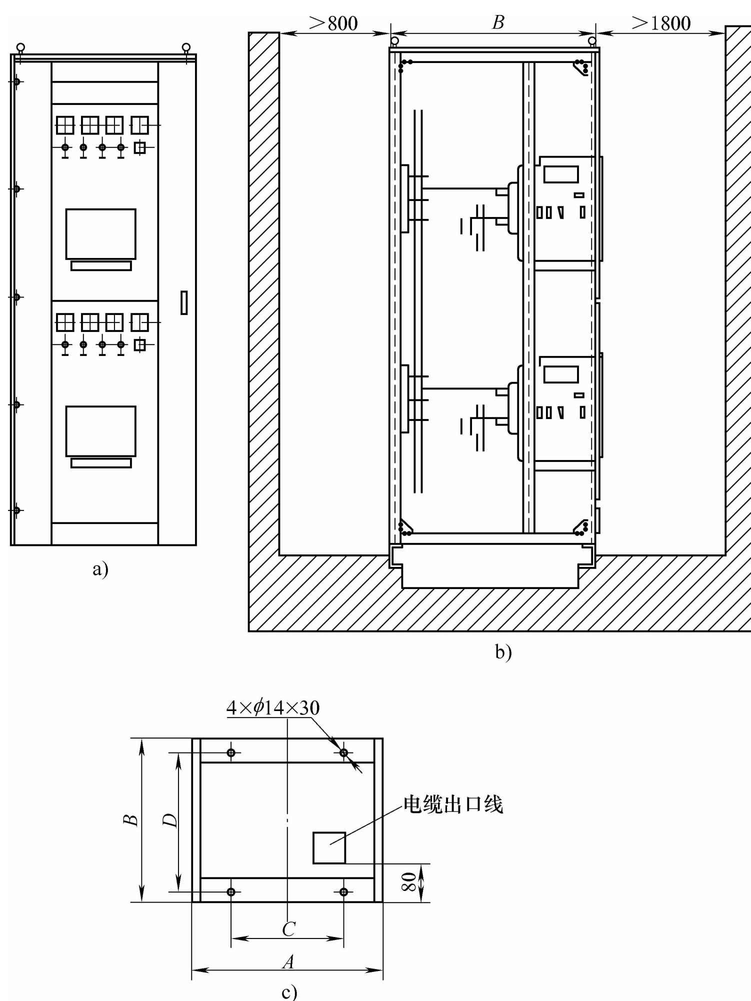


图 5-5　GCS（PC）动力柜的安装示意图

a）正视图　b）剖视图　c）底脚尺寸

二、安装前的准备工作

1）配电柜的安装工作应在土建工作结束后进行，屋内粉刷、油漆应在装柜前完成，土建和装柜不应同时进行。

2）配电柜等在搬运和安装时应采取防振、防潮、防止框架变形和漆面受损等安全措施，必要时可将装置性设备和易损元器件拆下单独包装运输。当产品有特殊要求时，应符合产品技术文件的规定。

3）配电柜应存放在室内或能避雨、雪、风、沙的干燥场所。对有特殊保管要求的装置性设备和电气元件，应按规定保管。

4）采用的设备和器材，必须符合国家现行技术标准的合格产品，并有合格证件。设备应有铭牌。

5）配电盘到货后应及时开箱检查。检查项目包括规格、型号、回路数等是否符合订货详图；盘上设备是否齐全，有无损坏、有无进水受潮现象。发现问题应及时处理，经妥善处理才能安装。

6）配电屏出厂时应附有如下详图和资料：①本屏一次系统概略图、仪表接线图、控制回路二次接线图、端子图；②本屏装设的电器元件表，其表内应注明生产厂家、型号规格，并应有生产许可证和产品合格证。

三、安装工艺要求

1. 配电柜安装的允许偏差

低压配电柜安装的允许偏差见表5-10。

表5-10　低压配电柜安装的允许偏差

<table>
<tr><th colspan="2">名　称</th><th>允许偏差/mm</th><th colspan="2">名　称</th><th>允许偏差/mm</th></tr>
<tr><td colspan="2">垂直度（每米）</td><td><1.5</td><td rowspan="2">盘面偏差</td><td>相邻两盘边</td><td><1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">水平偏差</td><td>相邻两盘顶部</td><td><2</td><td>成列盘面</td><td><5</td></tr>
<tr><td>成列盘顶部</td><td><5</td><td colspan="2">盘间接缝</td><td><2</td></tr>
</table>

2. 固定式配电柜的安装要求

1）机械闭锁、电气闭锁应动作准确、可靠。

2）动触头与静触头的中心线应一致，触头接触紧密。

3）二次回路辅助开关的切换触头应动作准确，接触可靠。

4）柜内照明齐全。

3. 抽屉式配电柜的安装要求

1）抽屉推拉应灵活轻便，无卡阻、碰撞现象，抽屉应能互换。

2）抽屉的机械联锁或电气联锁装置应动作正确可靠，断路器分闸后，隔离触头才能分开。

3）抽屉与柜体间的二次回路连接插件应接触良好。

4）抽屉与柜体间的接触及柜体、框架的接地应良好。

4. 手车式柜的安装要求

1）检查防止电气误操作的“五防”装置齐全，并动作灵活可靠。

2）手车推拉应灵活轻便，无卡阻、碰撞现象，相同型号的手车应能互换。

3）手车推入工作位置后，动触头顶部与静触头底部的间隙应符合产品要求。

4）手车和柜体间的二次回路连接插件应接触良好。

5）安全隔离板应开启灵活，随手车的进出而相应动作。

6）柜内控制电缆的位置不应妨碍手车的进出，并应牢固。

7）手车与柜体间的接地触头应接触紧密，当手车推入柜内时，其接地触头应比主触头先接触，拉出时接地触头比主触头后断开。

5. 螺栓固定法

螺栓固定法安装一般适用于有搬迁可能的低压配电柜。采用M10或M12的螺栓固定。配电盘底座上有安装孔，安装时，应首先在底盘预埋好角钢或槽钢底座，然后按照安装孔钻眼后，用螺栓固定。配电盘的底座一般用立放的槽钢、角钢或者是平放的槽钢做成。立放的

槽钢和角钢用螺栓固定时，底座上可打过眼（即大于螺栓直径的孔），平放时应攻螺纹。若用 M10 的螺栓固定时，过眼直径为 ϕ11 ~ ϕ12mm，攻螺纹孔直径为 ϕ8.4mm；用 M12 的螺栓固定时，过眼直径为 ϕ14mm，攻螺纹孔直径为 ϕ10.1mm。

6. 焊接固定法

焊接固定法适用于永久性安装的低压配电盘，将盘直接焊接在预埋的槽钢或角钢底座上即可。

无论是螺栓固定法还是焊接固定法，安装低压配电柜时，都应校正柜面的水平和垂直。多块柜拼装时，可先装中间一块柜，然后分别向两侧拼装，也可以从某侧的第一块柜开始逐块拼装。每拼装完一块，即可初步固定，经反复调整至合乎要求后再固定牢靠。盘与盘之间也可用螺栓固定，使一列配电柜成为一个整体。同样，柜面也应达到“横平竖直”。

四、安装后的检查与验收

安装时，配电屏相互间及其与建筑物间的距离应符合设计和制造厂的要求，且应牢固、整齐美观。若有振动影响，应采取防振措施，并接地良好。两侧和顶部隔板完整，门应开闭灵活，回路名称及部件标号齐全，内外清洁无杂物。

低压配电屏在安装或检修后，投入运行前应进行下列各项检查试验：

1）检查柜体与基础型钢固定是否牢固，安装是否平直。屏面油漆应完好，屏内应清洁，无积垢。柜内所装电器元件应齐全完好，安装位置正确，固定牢固。

2）各开关操作灵活，无卡涩，各触头接触良好。

3）用塞尺检查母线连接处接触是否良好。

4）所有二次回路接线应准确，连接可靠，标志齐全清晰，绝缘符合要求。

5）二次回路接线应整齐牢固，线端编号符号设计要求。

6）检查接地应良好。

7）抽屉式配电屏应检查推抽是否灵活轻便，动、静触头应接触良好，并有足够的接触压力。

8）手车或抽屉式配电柜在推入或拉出时应灵活，机械闭锁可靠；照明装置齐全。

9）柜内一次设备的安装质量验收要求应符合国家现行有关标准规范的规定。

10）用于热带地区的盘、柜应具有防潮、抗霉和耐热性能，按国家现行标准《热带电工产品通用技术》要求验收。

11）柜及电缆管道安装完后，应作好封堵。可能结冰的地区还应有防止管内积水结冰的措施。操作及联动试验正确，符合设计要求。

12）试验各表计是否准确，继电器动作是否正常。

13）用 1000V 绝缘电阻表测量绝缘电阻，应不小于 0.5MΩ，并按标准进行交流耐压试验。一次回路的试验电压为工频 1kV，也可用 2500V 绝缘电阻表试验代替。

14）在验收时，应提交下列资料和文件：

①工程竣工图。

②变更设计的证明文件。

③制造厂提供的产品说明书、调试大纲、试验方法、试验记录、合格证件及安装详图等技术文件。

④根据合同提供的备品备件清单。

⑤安装技术记录。

⑥调整试验记录。

第三节　低压配电装置的运行维护

一、低压配电装置的送电及试运行

低压配电装置安装竣工后，经检查验收合格方可投运。

1. 送电前的检查

1）配电屏及屏上的电器元器件的名称、标志、编号等是否清楚、正确，盘上所有的操作把手、按钮和按键等的位置与现场实际情况是否相符，固定是否牢靠，操作是否灵活。

2）配电屏上标有操作模拟板时，模拟板与现场电气设备的运行状态是否对应。

3）配电屏上表示“合”、“分”等信号灯和其他信号指示是否正确。

4）隔离开关、断路器、熔断器和互感器等的触头是否牢靠。

5）仪表或表盘玻璃是否松动，仪表指示是否正确，并清扫仪表和其他电器上的灰尘。

6）配电室内的照明灯具是否完好，照度是否明亮均匀，观察仪表时有无眩光。

2. 低压母线的测量

将所有柜的送出回路上的刀开关断开，用500V绝缘电阻表测量母线的绝缘电阻不应低于100MΩ；断路器、刀开关、接触器、互感器、起动器的绝缘电阻不应低于10MΩ；二次线对地绝缘电阻不应低于2MΩ。

3. 低压送出电缆或导线的试验

1）低压电缆绝缘电阻的试验同高压电缆，但使用500V的绝缘电阻表，绝缘电阻应大于10MΩ。低压电缆一般不做直流耐压试验。

2）低压送出回路的导线应使用500V绝缘电阻表测量相与相、相与地的绝缘电阻，应大于5MΩ。

4. 系统耐压试验

将各个送出的低压回路终端的受电开关断开，并派人看守，并将各台柜的刀开关、断路器或接触器闭合，从母线上的电压表后接耐压试验的导线，无误后进行低压系统的耐压试验，试验电压1kV，时间1min，无击穿为合格。但各个回路和单台设备的绝缘电阻大于10MΩ，可用2500V绝缘电阻表测绝缘电阻以代替耐压试验，试验时间应为1min，绝缘电阻应大于5MΩ。系统耐压试验时，应将电气设备、电器元件和仪表与系统断开。

5. 送电和空负荷运行

低压试验和测量合格后可进行送电和空负荷运行。先将一次的开关合上，再将低压侧总断路器合上使低压母线有电，电压表正常后即可进行低压侧的送电和空负荷运行。送电前应在每个送出回路的终端受电开关处派专人看守，并把该开关断开。然后按顺序把每台柜的刀开关、断路器合上，并由各处的看守人反馈送电情况，一切正常后可空负荷运行2h，正常后再将各分路低压开关断开，再断开低压总断路器，最后断开负荷开关，使变压器断电。

低压系统试验前必须检查各设备的接地情况，并摇测接地电阻，合格后才能进行试验。

二、低压配电装置运行的一般要求

1）低压配电装置应统一编定配电柜的编号，并标明负荷名称及容量，同时应与低压系

统操作模拟图板上的编号对应一致。

2）低压配电装置所控的负荷，必须分路清楚，避免一闸多控和混淆，同时应将重要负荷与一般负荷分开，以利运行调度和维护检修工作。

3）低压控制电器的额定容量应与受控负荷实际需要相匹配，各级保护装置的选择和整定，均应符合动作选择性的要求。母线、导线或电缆的截流量必须满足系统负荷的需要。

4）低压配电装置上的仪表及信号指示灯、报警装置应完好齐全。仪表的精度和互感器的规格应与用电设备容量或实际负荷相匹配。

5）开关的操作手柄、按钮、锁键等操作部件所标志的“合”、“分”、“运行”、“停止”等字样应与设备的实际运行状态相对应。

6）装有低压电源自投系统的配电装置，应定期做投切试验，检验其动作的可靠性。两个电源的联络装置处，应有明显的标志。当联锁条件不同时具备的时候，不能投切。

7）低压配电装置与自备发电设备的联锁装置应动作可靠。严禁自备发电设备与电力网私自并联运行。

8）断路器、交流接触器以及刀开关在通电运行以前，均应测校三相的同期性，并检查触头压力是否满足要求。

9）低压配电装置前后左右操作维护的通道上应铺设绝缘垫，同时严禁在通道上堆放其他物品。

10）低压配电装置前后应设置固定的照明装置且齐备完好，必要时或重要场所的配电装置应设事故照明。

11）低压配电室应设置与实际相符的操作模拟图板和系统接线图。其低压电器的备品、备件应齐全完好，并应分类存放于取用方便的地方。同时应配备安全用具和携带式检测仪表。

12）低压配电装置的安装和试验应符合电气装置安装工程施工及验收规范的要求，低压配电装置应按周期巡视、检查、清扫检修及试验。

三、低压配电装置的巡视检查

1）低压配电装置的巡视检查周期一般应每班一次；无人值班的至少应每周一次。

2）巡视检查的项目内容如下：

①总负荷及各分路负荷与仪表的指示值是否对应，三相负荷是否平衡，三相电压是否平衡，电路末端的电压降是否超过规定。

②各部位连接点（包括母线连接点）有无过热、螺帽有无松动或脱落、发黑现象；整个装置有无异常响动或异味、焦煳味；装置和电器的表面是否清洁完整，接地连接是否正常良好。

③绝缘子有无损伤、歪斜或放电现象及痕迹，母线固定卡子有无松脱；易受外力振动和多尘场所，应检查电气设备的保护罩、灭弧罩有无松动、是否清洁。

④低压配电室的门窗是否完整，通风和环境温度、湿度，是否满足电气设备的要求；下雨时，屋顶是否渗漏雨水或有无渗漏痕迹。屋外电器的防护箱是否漏水；室内外的维护通道是否畅通，室外道路是否被雨水冲断等。

⑤室内照明是否正常，备品、备件是否满足运行维修的需要，安全用具及携带式仪表是否符合使用要求。

⑥断路器过电流脱扣器整定值、热元器件配置，与负荷是否匹配，能否满足保护要求；断路器、接触器的电磁线圈吸合是否正常，有无过大噪声或线圈过热。

⑦负荷高峰、异常天气或发生事故及过负荷运行时应进行特殊巡视：

a. 电气设备各连接点、接线点是否发热严重、有无焦煳味。

b. 雨后应检查室内是否进水、漏水，电缆沟是否进水，瓷绝缘有无闪络或放电现象。

c. 设备发生事故后，重点检查熔断器及保护装置的动作情况以及事故范围内的设备有无烧伤或毁坏情况，有无其他异常情况等。

3）低压配电装置的清扫检修每年不应少于两次。其内容除清扫和摇测绝缘外，还包括检查各部位连接点和接地点的紧固情况及电气元件有无破损或功能欠缺等，应一一妥善处理。

4）变压器二次总控制采用断路器或低压配电装置的进线采用断路器时，检修时应做升流试验，并核定整定值，应与上一级保护装置匹配。

5）对装有联锁的低压电器，应做传动试验，检查其动作的可靠性和正确性，并检查其接线是否牢固。

6）巡视检查中发现的问题应及时处理，并记录。

四、低压配电系统异常运行和故障缺陷的处理方法

低压配电系统异常运行和缺陷的解决方法，首先是要按本节一和二中的要求执行，使故障的隐患在萌芽状态下被消除。此外，还有以下方法：

1）低压母线和设备的连接点超过允许温度时，应先迅速停下次要负荷，以控制温度上升，然后再停下缺陷设备进行检修。遇异常现象时，除作紧急停电处置外，一般应报告电气主管上级。

2）各种电器触头和触点过热时，应检查触头压力及接触连接点的紧固程度，消除氧化层，打磨触点，调整压力，拧紧连接处。

3）电磁铁噪声过大，应检查铁心接触面是否平整、对齐，有无污垢、杂质和铁心锈蚀；检查短路环有无断裂，检查电压是否过低，并采取相应的修复措施。

4）低压电器内部发生放电声响，应立即停止运行并取下灭弧罩或外壳，检查触头接触情况，并摇测对地及相间绝缘电阻是否合格。

5）如灭弧罩损坏或掉落，无论几相，均应停止该设备运行，修复后再使用。灭弧罩内沉积的金属珠颗粒应及时清除，如金属隔栅烧毁较严重者应予以更换。

6）接地线损坏或掉落时，应先检查设备是否漏电，必要时应停电修理，否则应用带绝缘的工具进行修理。

7）三相电源电压发生缺相时，或电流互感器二次开路时，应及时停电进行处理。

8）断路器或熔断器发生越级动作时，应校验整定值和熔丝规格，否则应重新整定。

9）低压配电支路送电时立即跳闸送不出去者，应先检查开关自身有无缺路或吸合线圈吸不住、过电流整定太小、机械挂钩不灵及其他有碍合闸的故障，必要时可将负荷线临时拆掉，然后再检查负荷线有无短路或带负荷较大等。

10）送电或正常运行时，某个部位若发生打火，有碍于运行，则应停下修理，一般是由于虚接所致。

11）低压配电室必须保持良好的通风，特别是夏日用电高峰时间，必要时应设置机械

通风装置，强迫通风，以减少事故的发生。

12）配电室有直接控制的大型电动机起动时，应密切注意电流、电压及各连接部位的变化情况，如有意外，应紧急停车，并检查故障点。如引起总保护动作时，应重新调整动作参数。

13）低压配电室与高压配电所一样，应该是一个井井有条、整洁卫生、保卫严密、通信方便、道路畅通的场所，并永远保持六防二通，即防火、防水、防漏、防雨、防盗、防小动物、通风良好、道路畅通。

第六章　高压成套配电装置

高压成套配电装置又称开关柜，是以断路器为主的成套电器。它用于配电系统，起接受与分配电能的作用，这类装置的各组成元件按主接线的要求，以一定顺序布置在一个或几个金属柜内，克服了间隔式的缺点，具有占地少、安装与使用方便、能在工厂中大量生产等优点，因而被广泛采用。

高压开关柜因其结构型号和装置方式不同，大致可有以下几种类型：按主元件断路器的装置方式可分为固定式和移开式或手车式：按外壳结构可分为敞开式和封闭式及箱式；按装置地点可分为户内式和户外式，户外式一般做成箱型，如环网开关柜。高压开关柜均具有防止误操作闭锁装置的五防功能：

第一节　XGN15-12 型开关柜

一、概述

XGN15-12 型开关柜，具有单元小型化配置、技术先进、结构简单、操作灵活、联锁可靠等特点。

XGN15-12 型开关柜适用于三相交流 50Hz、额定电压 12kV 的户内配电装置，广泛应用于工业及民用电缆环网及供电末端的配电自动化。

它特别适用于小型二次配电站、开闭所、工矿企业、城市居民小区、机场、铁路、隧道、高层建筑等电力系统中作为接受和分配电能之用。

XGN15-12 型开关柜为金属铠装封闭式，柜内为空气绝缘。具有终端变电站接线及适应环网供电的接线。

XGN15-12 型开关柜采用规范部件：选用断路器（真空或 SF_6 型）、接地开关、熔断器、仪用互感器、二次仪表，通过这些部件的组合，能广泛满足各种设计方案的要求。根据需要，可以增设低压箱。产品具有可靠的机械联锁装置，可满足“五防”功能要求。

主开关可选用：DLF-12SF_6 负荷开关、FLN36-12D 型 SF_6 负荷开关、真空断路器等；也可选用 ABB 公司原装 SFL-12/24 型 SF_6 负荷开关、HAD/us 型 SF_6 断路器或 VD4-S 型真空断路器等。

二、技术参数

XGN15-12 型开关柜的主要技术参数见表 6-1。

表 6-1　XGN15-12 型开关柜的主要技术参数

序　号	名　称	单　位	参　数
1	额定电压	kV	12
2	主母线额定电流	A	630
3	额定电流	A	630

（续）

序　号	名　称		单　位	参　数
4	额定频率		Hz	50
5	额定短时耐受电流		kA	20
6	额定短路持续时间		s	4
7	额定峰值耐受电流		kA	50
8	额定短路关合电流		kA	50
9	额定有功负荷开断电流		A	630
10	额定闭环开断电流		A	630
11	额定电缆充电开断电流		A	10
12	接地开关额定短时耐受电流		kA	20
13	接地开关额定短路持续时间		s	4
14	接地开关额定峰值耐受电流		kA	50
15	额定绝缘水平	1min 工频耐受电压（有效值）	kV	（相间、相对地）42；（断口）48
		雷电冲击耐受电压（峰值）	kV	（相间、相对地）75；（断口）85
16	主回路电阻		μΩ	≤400
17	机械寿命	负荷开关	次	5000
		接地开关	次	2000
18	辅助回路 1min 工频耐受电压		kV	2
19	SF_6 气体额定压力（20℃表压）		MPa	0.04
20	SF_6 气体年泄漏率			1%
21	防护等级			IP3X

第二节　KYN28-12 系列开关柜

一、概述

1. 主要特点

KYN28-12 系列金属铠装移开式开关柜选用 ABB 公司生产的 VD4 或 VS1 型真空断路器。VD4、VS1 型真空断路器手车可手动推进或拉出，适合于远程控制。

全封闭结构的柜体实现完全铠装，各功能单元彻底分隔，在柜门关闭的情况下，实现对断路器及接地开关的操作。

手车具有极好的互换性，精密丝杠机构的传动单元，确保中置式手车可实现闭门操作。

一次方案可满足用户的多种需要。可实现双手车方案，方案中下手车拉出后，一次触头即被隔离，从而保证了操作人员不触及带电体。

简单有效的机构，能可靠地防止误操作，确保操作人员安全。

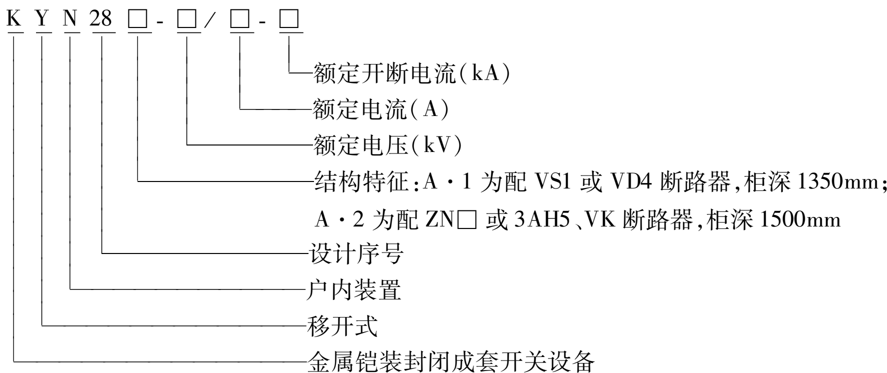
手车室、母线室及电缆终端室的上方均设有压力释放装置，确保操作人员安全。

电缆室空间充裕，可方便地接多根电缆，足够的电缆头高度方便现场连接。

严密的防护等级（IP4X），有效地防止异物或虫害侵入，确保开关柜安全运行。

2. 型号含义

开关柜型号含义如下：



可选用具有自诊断功能并可数据通信的智能型综合微机保护监控装置，实现遥控、遥测、遥信、遥视、遥调。

满足 GB 3906—2006、DL404 及 IEC60298 等标准要求，并通过全面的型式试验和内部故障电弧效应试验。

3. 应用范围

1）公用事业及电站：发电厂，变电站，开闭站，主、辅助开关站。

2）工业系统：石油和天然气管道、冶金、汽车、化工、纺织、造纸、矿山、食品。

3）交通运输系统：机场、港口、铁路、地铁。

4）其他场所：房地产、医院、基础及民用设施。

4. 正常运行条件

1）环境温度：最高 +40℃，最低 -35℃，日平均不大于 +35℃。

2）环境湿度：相对湿度的日平均不大于 95%，月平均不大于 90%。

3）海拔：不超过 1000m。

4）地震烈度：不超过 8 级。

5）没有火灾、爆炸危险、化学腐蚀及剧烈振动的场所。

二、技术参数

KYN28 系列开关柜主要技术参数见表 6-2。

表 6-2　KYN28 系列开关柜主要技术参数

项　目	单　位	数　据
额定电压	kV	12
1min 工频耐受电压	kV	42
雷电冲击电压(全波)	kV	75
额定电流	A	630,800,1000,1250,1600,2000,2500,3150
4s 热稳定电流(有效值)	kA	16,20,25,31.5,40
动稳定电流(峰值)	kA	40,50,63,80,100
防护等级		IP4X,手车室门开时 IP2X

VD4、VS1 型真空断路器主要技术参数见表 6-3。

表 6-3　VD4、VS1 型真空断路器主要技术参数

名　称		单　位	参　数	
额定电压		kV	12	
1min 工频耐受电压		kV	42	
雷电冲击电压(全波)		kV	75	
额定电流		A	630,1250,1600,2000,2500,3150	
额定对称短路开断电流(有效值)		kA	16,20,25,31.5,40,50	
非对称短路开断电流(有效值)		kA	17.4,21.8,27.3,34.3,43.6,55.8	
4s 热稳定电流(有效值)		kA	16,20,25,31.5,40,50	
动稳定电流(峰值)		kA	40,50,63,80,100,125	
额定电流开断次数		次	30000(2500A 以上为 20000 次)	
额定短路电流开断次数		次	100	
额定操作顺序	非自动重合闸		0-180s-CO-180s-CO	
	自动重合闸		0-0.3s-CO-180s-CO	
多次重合闸操作顺序			0-0.3s-CO-15s-CO-15s-CO	
操动机构形式			弹簧储能	永磁操动
操动机构额定电压		V	AC110,AC220,DC48, DC110,DC220	电源块 A:20～80V,AC/DC 电源块 B:≥80～264V,AC/DC
操动机构储能时间		s	≤15	
操动机构消耗功率		V·A/W	≤150	≈100(储能过程) ≤4(正常运行中)

电流互感器主要技术参数见表 6-4。

表 6-4　电流互感器主要技术参数

项　目	单　位	参　数
最高工作电压	kV	12
额定电流	A	20～1250,1500～2500
2s(3s)热稳定电流(有效值)	kA	5～45,10.5～63
动稳定电流(峰值)	kA	16～144,33～200
准确级		0.2,0.5,1,3 5P10,5P20,10P10,10P20
额定输出	VA	15～20

电压互感器主要技术参数见表 6-5。

表 6-5　电压互感器主要技术参数

项　目	单　位	参　数					
额定电压	V	3000/100,6000/100,10000/100			$\frac{3000}{\sqrt{3}}\Big/\frac{100}{\sqrt{3}}$	$\frac{6000}{\sqrt{3}}\Big/\frac{100}{\sqrt{3}}$	$\frac{10000}{\sqrt{3}}\Big/\frac{100}{\sqrt{3}}$
准确级		0.2	0.5	1	0.2	0.5	1
额定输出	VA	15	30	60	15	30	60
极限输出	VA	350					

金属氧化物避雷器主要技术参数见表6-6。

表6-6　金属氧化物避雷器主要技术参数

项　　目	单　　位	参　　数		
系统额定电压	kV	3.6	7.2	12
避雷器额定电压	kV	5.0	10.0	17
持续运行电压	kV	4.0	8.0	13.6
操作冲击残压(最大值)	kV	14.5	25.5	42.5
雷电冲击残压(最大值)	kV	17.0	30.0	50.0
陡波冲击残压(最大值)	kV	19.6	34.5	57.5
直流1mA参考电压(最小值)	kV	7.5	15.0	25.0

三、开关柜结构

1. 总体结构

开关柜由柜体和手车两大部分组成。柜体的外壳与各功能小室的隔板均采用敷铝锌钢板，具有很强的抗腐蚀和抗氧化性能，并具有比同等钢板高的机械强度。柜体由螺栓连接组装而成，装配好的开关柜能保证尺寸上的统一性。柜体被隔板分隔成断路器手车室、继电器仪表室、母线室、电缆室四个功能小室，每一小室外壳均独立接地。

KYN28-12系列手车为中置式，根据用途可分为断路器手车、电压互感器手车、隔离手车、计量手车等。各类手车高度与深度尺寸统一，相同规格的手车可互换。手车在柜内有隔离位置、试验位置、工作位置。手车在柜内，采用丝杠推进机构移动。手车在隔离位置、试验位置、工作位置的每一位置，均设有定位装置，以确保手车处在特定位置时，不能移动。

根据需要，开关柜不仅可安装成面对面或背对背双排排列，而且还可以靠墙安装。根据用户需要，也可做成双面维护的布置方案。

KYN28-12系列移开式开关柜外形总体结构如图6-1所示。

2. 外壳结构

开关设备的外壳是选用进口敷铝锌钢板，经计算机数控（CNC）机床加工，并采取多重折边工艺，这样使整个柜体不仅具有精度高、很强的抗腐蚀与抗氧化作用，而且由于采用多重折边工艺，使柜体比其他同类设备柜体整体重量轻、机械强度高、外形美观。柜体采用组装式结构，用拉铆螺母和高强度的螺栓连接而成，这样使加工生产周期短、零部件通用性强、占地面积少，便于组织生产。

3. 手车结构

手车骨架也采用薄钢板经CNC机床加工后组装而成，手车与柜体绝缘配合，机械联锁安全、可靠、灵活。根据用途不同，手车分为断路器手车、电压互感器手车、计量手车、隔离手车。各类手车按模数、积木式变化，同规格手车可以百分之百自由互换。手车在柜体内有隔离位置、试验位置和工作位置，每一位置都分别有定位装置，以保证联锁可靠，必须按联锁防误操作程序进行操作。各种手车均采用丝杠和螺母推进、退出，其操作轻便、灵活，适合于各种值班人员操作。手车当需要移开柜体时，用一只专用转运车，就可以方便取出，进行各种检查、维护；而且采用中置式，整个小车体积小，检查、维护都极为方便。

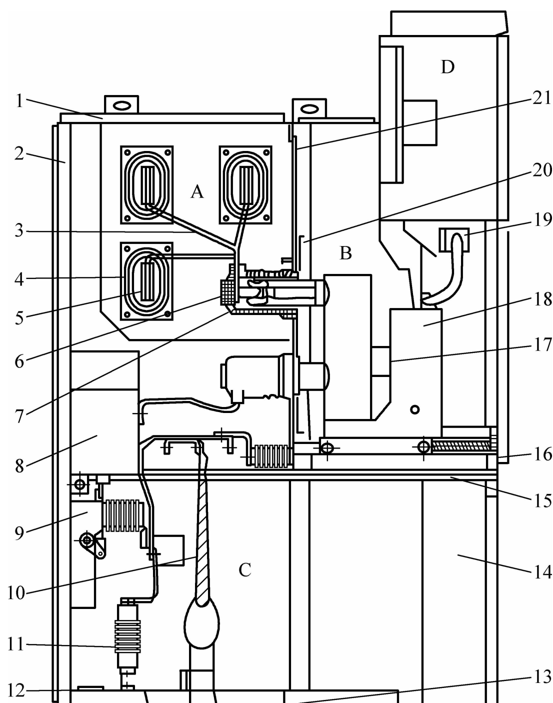


图 6-1　KYN28-12 系列移开式开关柜总体结构

A—母线室　B—断路器手车室　C—电缆室　D—继电器仪表室

1—泄压装置　2—外壳　3—分支小母线　4—母线套管　5—主母线　6—静触头装置　7—静触头盒
8—电流互感器　9—接地开关　10—电缆　11—避雷器　12—接地主母线　13—底板
14—控制小线槽　15—接地开关操动机构　16—可抽出式水平隔板　17—加热装置
18—断路器手车　19—二次插头　20—隔板（活门）　21—装卸式隔板

断路器手车上装有真空断路器及其他辅助设备。当手车用转运车运入柜体断路器室时，便能可靠锁定在断开位置/试验位置；而且柜体位置显示灯便显示其所在位置，只有完全锁定后，才能摇动推进机构，将手车推向工作位置。手车到工作位置后，推进手柄即摇不动，其对应位置显示灯便显示其所在位置。手车的机械联锁能可靠保证手车只有在工作位置或试验位置，断路器才能进行合闸；而且手车只有在分闸状态，断路器才能移动。

4. 隔室结构

开关柜主要电气元件都有其独立的隔室，即断路器手车室、母线室、电缆室、继电器仪表室，各隔室间防护等级都达到 IP2X。除继电器室外，其他三个隔室都分别有泄压通道。由于采用了中置式形式，电缆室位置大大增加，因此设备可接多路电缆。

（1）断路器手车室

断路器手车室两侧安装了轨道，供断路器手车 18 在柜内由隔离位置/试验位置移动滑行至工作位置，静触头盒 7 的隔板（活门）20 安装在断路器手车室的后壁后，当断路器手车从断开位置/试验位置移动到工作位置过程中，上、下静触头盒上的活门与断路器手车联动，同时自动打开；当反方向移动时，活门则自动闭合，直到断路器手车退至一定位置而完全覆盖住静触头盒，形成有效隔离，同时由于上、下活门不联动，在检修时，可锁定带电侧的活门，从而保证检修维护人员不触及带电体，在断路器室门关闭时，手车同样能被操作。通过

上门观察窗，可以观察隔室内手车所处位置，合、分闸显示，储能状况。

（2）母线室

主母线 5 是单台拼接相互贯穿连接。通过分支以母线 3 和静触头盒 7 固定，主母线和联络母线为矩形截面的铜排；用于大电流负荷时，采用双根母排拼成。分支小母线通过螺栓连接于静触头盒 7 和主母线 5，不需要其他支撑。对于特殊需要，母线可用热缩套和连接螺栓绝缘套和端帽覆盖。相邻柜主母线用母线套管 4 固定，这样连接主母线间所保留的空气缓冲，在如果出现内部故障电弧时，能防止其贯穿熔化，母线套管 4 能有效把事故限制在室内而不向其他柜蔓延。

（3）电缆室

开关柜采用中置式，因而电缆室空间较大，电流互感器 8、接地开关 9 装在隔室后壁上，避雷器 11 安装于隔室后下部，将断路器手车 18 和可抽出式水平隔板 16 移开后，工作人员就能从正面进入柜内安装和维护，电缆室内的电缆连接导体，每相可并 1-3 根单芯电缆，必要时每相可并接 6 根单芯电缆，连接电缆的柜底配制有开缝的可卸式非金属封板或不导磁金属封板，确保了施工方便。

（4）继电器仪表室

继电器仪表室可安装继电保护元件、仪表、带电监察指示器，以及特殊要求的二次设备。控制线路敷设在足够空间的线槽内，并有金属盖板，可使二次线与高压室隔离，其左侧线槽是为控制小线的引进和引出预留的，开关柜自身内部的小线敷设在右侧，在继电器仪表室的顶板上还留有便于施工的小母线穿越孔。接线时，仪表室顶盖板可供翻转，便于小母线的安装。

5. 防止误操作联锁装置

（1）五防联锁

开关柜内装有安全可靠的联锁装置，完全满足五防的要求，即防止误合、误分断路器，防止带负荷拉、合隔离开关，防止带接地线合闸，防止带电挂接地线，防止走错间隔。

1）继电器仪表室门上装有提示性的按钮或者 KK 型转换开关，以防止误合、误分断路器。

2）断路器手车在试验或工作位置时，断路器才能进行合分操作，而且在断路器合闸后，手车无法移动，防止了带负荷误推拉断路器。

3）仅当接地开关处在分闸位置时，断路器手车才能从试验/断开位置移到工作位置，仅当断路器手车处于试验/断开位置时，接地开关才能进行合闸操作（接地开关可带电压显示装置）。这样实现了防止带电误合接地开关及防止了接地开关处在闭合位置时关合断路器。

4）接地开关处于分闸位置时，下门及后门都无法打开，防止了误入带电间隔。

5）断路器手车确实在试验或工作位置而没有控制电压时，仅能手动分闸，不能电动合闸。

6）断路器手车在工作位置时，二次插头被锁定而不能拉除。

7）各柜体可装电气联锁。

开关设备还可以在接地开关操作机构上加装电磁铁锁定装置以提高可靠性。

（2）二次插头与手车的位置联锁

开关柜上的二次线与断路器手车的二次线的联络是通过手动二次插头来实现的。二次插头的动触头通过一个尼龙波纹伸缩管与断路器手车相连，二次静触头座装设在开关柜手车室的右上方。断路器手车只有在试验/断开位置时，才能插上和解除二次插头，断路器手车处

于工作位置时，由于机械联锁作用，二次插头被锁定，不能被解除。由于断路器手车的合闸机构被电磁铁锁定，断路器手车在二次插头未接通之前仅能进行分闸，所以无法使其合闸。

6. 泄压装置

在断路器手车室，母线室和电缆室的上方均设有泄压装置，当断路器或母线发生内部故障而产生电弧时，伴随电弧的出现，开关柜内部气压升高，装设在门上的特殊密封圈把柜前面封闭起来，顶部装备的泄压金属板将被自动打开，释放压力和排泄气体，以确保操作人员和开关柜的安全。

7. 带电显示装置

开关柜内可设有一次回路运行的可选件，即带电显示装置。该装置由高压传感器和可携带式显示器两个单元组成，经用户外接导电线连接为一体。该装置不但可以揭示高压回路带电状况，而且还可以与电磁锁配合，实现强制闭锁开关手柄、网门，达到防止带电关合接地开关、防止误入带电间隔，从而提高配套产品的防误性能。

8. 接地装置

在电缆室内单独设立有 10mm ×40mm 的接地铜排，此铜排能贯穿相邻各柜，并与柜体良好接触，此接地铜排供元器件直接接地使用。同时由于整个柜体用敷铝锌板相拼接，这样使整个柜体都处在良好接地状态中，确保运行操作人员触及柜体时的安全。

四、电气主接线

1. 电气主接线的原则

1）10kV 配电所的高压母线宜采用单母线不分段或单母线分段接线。

2）配电所专用电源的进线开关宜采用断路器或带熔断器的负荷开关。

3）对于农村用电的配电变压器，容量一般在 315kV · A 及以下时，可用跌落式熔断器。

4）从总配电所以放射式向分配电所供电时，当分配电所需要带负荷操作或继电保护、自动装置有要求时，应采用断路器。

5）10kV 母线的分段处宜装设断路器。

6）两配电所之间的联络线，应在供电侧的配电所装设断路器，另侧装设隔离开关或负荷开关；当两侧的供电可能性相同时，应在两侧均装设断路器。

7）配电所的引出线宜装设断路器。当满足继电保护和操作要求时，可装设带熔断器的负荷开关。

8）向频繁操作的高压用电设备供电的出线开关兼做操作开关时，应采用具有频繁操作性能的真空断路器。

9）接在母线上的避雷器和电压互感器，宜合用一组隔离开关。

10）配电所采用 10kV 双电源、双配电变压器、单母线供电时，电气主接线原理如图 6-2 所示。

2. KYN28-12 系列移开式开关柜电气主接线

10kV 配电所采用 KYN28-12 系列移开式开关柜，且单电源、单主变压器、单母线不分段供电时，电气主接线由所用变压器、电源进线柜、计量柜、总柜、母线设备柜、主变压器进线柜组成；双电源、双主变压器、单母线分段供电时，应选择两套上述开关柜设备，同时应增设母线分段柜、母线联络柜，其电气主接线见表 6-7。表中仅列出 1 台配电变压器的 10kV 配电装置相关备，第 2 台配电变压器的与第 1 台配电变压器的相同。

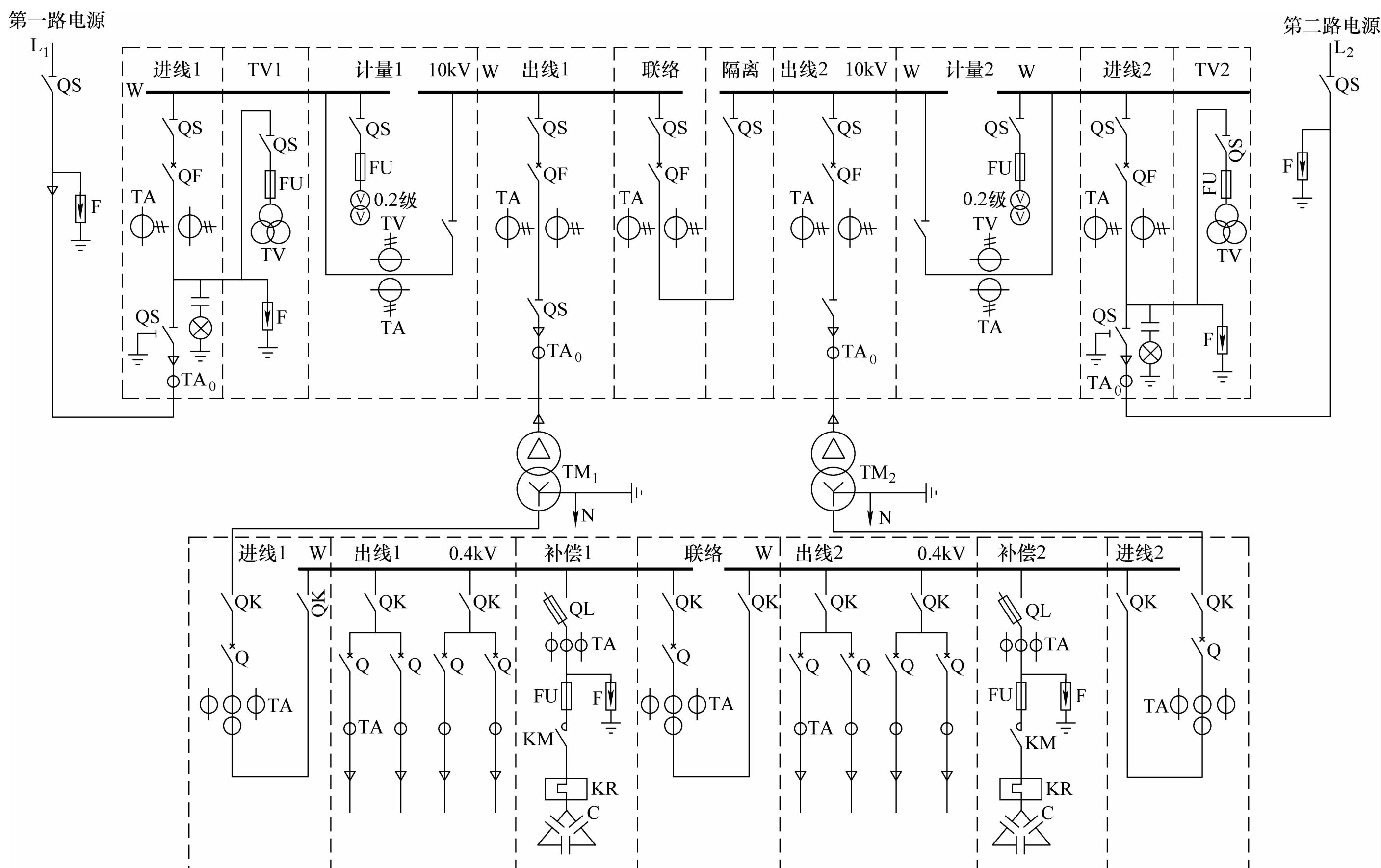


图 6-2　配电所采用双电源、双配电变压器、单母线分段供电时的电气主接线原理

L_1、L_2—10kV 电源线路　N—低压零线　TM_1、TM_2—配电变压器　W—母线　QS—隔离开关　QK—低压刀开关　QF—高压断路器　Q—低压断路器　KM—交流接触器　TV—电压互感器　TA—电流互感器　TA_0—零序电流互感器　FU—熔断器　F—避雷器　KR—热继电器　QL—负荷开关　C—无功补偿电容器

表 6-7　KYN28-12 系列移开式开关柜电气主接线

柜　　名	所用变压器	电源进线柜	计量柜	总柜	母线设备柜	主变压器进线柜	母线分段柜	母线联络柜
母线规格	由设计确定							
一次系统电气主接线								
VS1—12、VD4—12 630A/20kA 真空断路器		1 台		1 台		1 台	1 台	630A
LZZBJ12—10 □/5A　0.25/0.5 20V·A/20V·A 电流互感器		2 只	2 只	3 只		3 只	3 只	
JDZ9—10　10/0.1kV JDX—10　$10/\sqrt{3}$kV $0.1/\sqrt{3}$kV 0.1/3kV 电压互感器			2 只		3 只			
SC10—30 所用变压器	1 台							
XRNP1—12 高压熔断器	3 只		2 只		3 只			
HYSWZ—17/42 避雷器		3 只			3 只			
EK—12 接地开关		3 只				3 只		
GSN—10 带电显示器		1 组						

第三节　Safe 系列开关柜

一、概述

Safe 系列 SF_6 绝缘环网柜和紧凑型开关柜是 ABB 公司生产的产品。

以其固定式单元组合型（Safe Ring 型开关柜）与灵活扩展型（Safe Plus 型开关柜）的完美统一，既适合网络节点或用户终端的要求，又满足各种二次变电站对紧凑型开关柜灵活

使用的需要。Safe Ring 型开关柜和 Safe Plus 型开关柜具有相同的用户界面。

二、主要特点

1. 固定式与灵活扩展的配置

Safe Ring 型开关柜是环网主单元结构。在同一个 SF_6 绝缘气室内，Safe Ring 型开关柜最多可以配置 5 个模块，可为配电网络提供 16 种固定组合方式，适应绝大多数需要环网单元的场合。Safe Ring 型开关柜组合形式为 DF、CF、CCC、CCF、CFC、FCC、CCCC、CCCF、CCFF、CFFC、CCVV、CCCCC、CCFFF、CCCFF、CCCCF、CCCCCC。

Safe Plus 型开关柜是紧凑型开关柜。在同一个 SF_6 绝缘气室中，Safe Plus 型开关柜最多可以配置 6 个模块；配置模块数多于 6 个的开关柜要采用扩展母线将开关柜连接起来，实现半模块化结构；也可以通过在所有的模块之间使用扩展母线的方式以实现全模块化配置。通过不同的 9 种功能模块组合可以形成由简单到复杂的配电方案，满足二次变电站和开闭所中的各种配置要求。Safe Plus 的模块形式有 C、D_e、D、F、V、S_L、S_V、B_r、B_e、M、CB 型。

2. 三维模型与仿真优化产品设计

产品开发使用美国 Parametric Technology 公司的 Pro/Engineer 三维计算机辅助设计系统建立可体现部件相互关系的三维模型，并结合 ABB 公司的仿真软件进行了开关柜的机械强度仿真和绝缘强度的仿真，以及短路电流下的机电仿真。通过仿真，找出薄弱点，优化产品的结构设计。

3. 结构紧凑

除了断路器（CB）柜和空气绝缘的计量柜外，所有的模块都只有 325mm 宽，计量柜宽度是 696mm；CB 柜有三种宽度，为 446mm、500mm、696mm 宽。所有单元的电缆连接套管对地高度一致，方便了现场施工。

4. 不受环境影响

开关柜的所有高压带电部分位于不锈钢箱体内，箱壳为不锈钢密封焊接，充入工作压力为 1.4bar[㊀] 的 SF_6 气体，防护等级为 IP67。开关柜可安装于潮湿、多沙多尘、盐污、矿山、箱式变电站和任何由于空气污染易引发表面污闪的场所而不必采取特别的预防措施。无需母线清扫和防小动物。即使是熔断器小室也具有 IP67 的防护等级。扩展母线为完全绝缘和屏蔽的，以保证不受外部环境变化的影响，并可免维护。

5. 高可靠性的人身安全

所有带电部分封闭在 SF_6 气室中；开关柜具有可靠的泄压通道，通过了 20kA/1s 的内部燃弧试验；负荷和接地开关为三位置开关，简化了相互之间的联锁；电缆室盖板与负荷开关之间具有可靠的机械联锁；进线单元可安装灭弧器，选择这种功能可满足内部电弧抑制的需要，此时开关可不设 SF_6 泄压通道。

6. Safe 系列开关柜是集成了工业自动化技术的智能化环网主单元（Intelligent Ring Main Unit，IRMU）

它可以提供有效的保护、遥控和监测系统；提供即插即用式的配电网自动化远动终端装置（RTU）工厂解决方案。无需外接控制箱，所有电子元器件、电池和调制解调器都安装在开关柜的标准面板后面的一个专用的空间内。

㊀ 1bar = 10^5Pa，后同。

7. Safe 系列开关柜的设计提供了两种变压器保护选择

变压器保护可选择负荷开关熔断器组合电器或具有继电保护的断路器。负荷开关熔断器组合电器用于 1600kV · A 及以下变压器保护，而具有继电器的断路器可用于各种容量的变压器保护。

8. Safe 系列开关柜的设计提供了两种线路保护用断路器选择

两种线路保护用断路器均采用 VG 系列真空断路器，并密封于 SF_6 箱体中。V 模块额定电流为 630A，CB 模块的额定电流可达 1250A。

9. 环境保护

Safe 系列开关柜的开发不仅从产品本身，更包括从生产过程到开关柜的终身运行的环保。ABB 公司选取利于环保的材料，采用零泄漏的清洁工艺，产品终身密封，产品寿命周期结束后 90% ~95% 的材料是可以回收的。

三、技术参数

Safe 系列开关柜 SF_6 气体压力：20℃下为 1.4bar（绝对压力）；年泄漏率：0.025%/年；浸水试验：水下施加 0.3bar 的压力、24kV、24h；燃弧试验：有灭弧器时为 20kA、1s，无灭弧器时为 16kA、1s；防护等级：SF_6 气室 IP67，熔断器筒 IP 67，开关柜外壳 IP3X；开关柜内铜母线的截面积为 400mm²，开关柜接地铜母线的截面积为 150mm²；气室不锈钢壳厚度为 3mm；开关柜前面板颜色：RAL7012，侧板和电缆室前盖板颜色：RAL 7035。

Safe 系列开关柜的技术参数见表 6-8。

表 6-8　Safe 系列开关柜的技术参数

模块型式	C 模块	F 模块	V 模块		CB 模块	
	负荷开关	组合电器	真空断路器	隔离/接地开关	真空断路器	隔离/接地开关
额定电压/kV	12/24	12/24	12/24	12/24	12/24	12/24
工频耐受电压/kV	42/50	42/50	42/50	42/50	42/50	42/50
雷电冲击耐受电压/kV	95/125	95/125	95/125	95/125	95/125	95/125
额定电流/A	630/630	①	630/630		1250/800	
开断能力						
闭环开断电流/A	630/630					
电缆充电开断电流/A	135/135					
5% 额定有功负荷开断电流/A	31.5/ -					
接地故障开断电流/A	200/150					
接地故障时电缆充电的开断电流/A	115/87					
短路开断电流/kA		②	20/16		25（20）③	
关合能力/kA	63/52.5	②	50/40	50/40	63（50）③	63/50
短时耐受电流（2s）/kA	25/ -					
短时耐受电流（3s）/kA	-/21		20/16	20/16	25（20）③	25/20
机械寿命/次	5000	3000	5000	2000	10000	2000

① 取决于熔断器的电流额定值。

② 受限于高压熔断器。

③ 括号中的数字是 800A 柜型在 24kV 系统中的参数。

Safe-CB 系列开关柜的技术参数见表 6-9。

表 6-9　Safe-CB 系列开关柜的技术参数

开关柜型号		Safe-CB		Safe-CB/B	Safe-CB/E
额定电压/kV		12/24			
额定电流/A		800	1250	800	1250
额定开断电流/kA		25/20	25	25/20	25
绝缘水平/kV（相间/断口）	工频	42/48 或 50/60			
	脉冲	95/110			
工频短时耐受电流/（kA/s）		25/3			
峰值耐受电流/kA		63			
断路器操作次数/次		10000			
断路器额定操作次序		O—0. 3s—CO—180s—CO			
三位置开关操作次数/次（隔离开关/接地开关）		1000/1000			
断路器储能方式		电动 + 手动			
断路器操作方式		电动 + 手动			
三位置开关操作方式		手动			电动
电动操动机构电动机操作电压		DC 48V，DC/AC 110/220V			
合分闸线圈电压		DC 24/30/48/110/220V			DC 48/110/220V
断路器与三位置开关的联锁方式		机械			继电器控制
开关柜内联锁		机械			继电器控制
继电保护		普通，可选			REF542 +
进出线方式		前部，下进/出预装式电缆头		前部 + 后部，下进/出；其中后部同时可选上进/出，或带 PT	前部，下进/出预装式电缆头
柜体尺寸/mm	宽（W）	446	696	500	696
	高（H）	1806		2000/2500（净高/含导弧罩）	1806
	深（D）	820		500/1800（含 PT）	820
电流互感器		环形，装于电缆		环形，装于电缆 装于后出线套管的 CT 可选	环形，装于电缆
与其他 Safe 单元连接		外置母线		不可	外置母线
安装方式		靠墙		变电室中部	靠墙
内部燃弧耐受等级		AFL		AFLR	AFL
柜体防护等级		IP3X		IP4X（可选 IP5X）	IP3X
一次部分防护等级		IP67			
气箱额定充气压力（绝对）		0. 14MPa			
柜间母线		外置，固体绝缘可触摸，有封闭的母线室			
柜间外置母线额定电流		1250A			

四、外形结构

Safe 系列开关柜的外形结构如图 6-3 所示。

五、遥控、遥测及遥信单元功能

1. 简介

配置了一体化的遥控、遥测、遥信自动化模块的 Safe Ring 与 Safe Plus 系列开关柜实现了环网开关设备智能化应用。利用通信将各 IRMU（智能化环网主单元）与上级调度中心连接，可实现配电系统综合自动化。配电网自动化使调度运行人员可以足不出户地了解整个配电网的运行情况，迅速实现故障定位，自动或人为地实现故障的隔离和网络的重构，从而大大缩短停电面积和时间，减小故障造成的损失。此外，还可以方便地进行负荷监控与调配，有利于网络的合理利用。

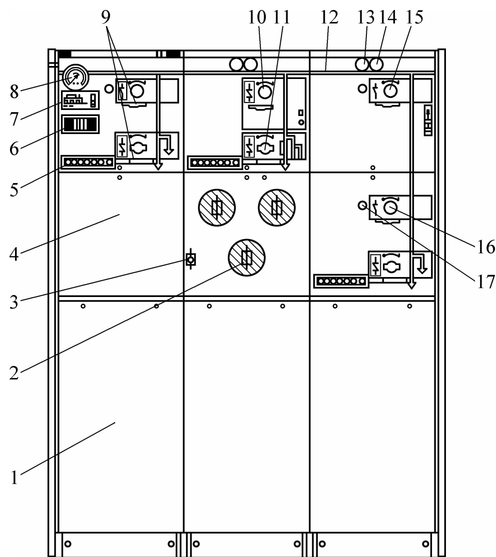


图 6-3　Safe 系列开关柜外形结构

1—电缆室　2—熔断器室　3—熔断器熔断指示器　4—遥控与监控单元智能电子站系统安装室　5—电容性电压指示器　6—短路接地故障指示器　7—具有序列号的标牌　8—压力指示器　9—面板上的挂锁装置　10—负荷开关操作孔　11—接地开关操作孔　12—模拟线路图　13—分闸按钮　14—合闸按钮　15—断路器操作孔　16—隔离开关操作孔　17—钥匙互锁

与 Safe Ring 及 Safe Plus 系列开关柜相配的是 ABB IDS 配电网自动化系统。该系统为开放式设计，包括了子站和自动化终端模块两部分。自动化终端为分布式模块化设计，具有很高的可靠性。同时，其紧凑的外形便于安装于紧凑型开关设备中。

IDS 系统的子站系统包括两种：IDS-MMI 和 IDS-DAS。

IDS 系统的远动终端模块（RTU）有两种最重要的模块，分别为 IDS-DTU51 和 IDS-F86。

2. 集成式监控单元（ICMU）

Safe 系列开关柜可以利用分布于各开关柜的 IDS-F86 和 IDC-DTU51 终端模块等，实现并关柜的智能化升级。

IDS 系统的 RTU 可装于 Safe 系列开关柜的 RTU 室（C、D、SL、Be）或柜顶的低压箱中，每个模块均带一个 CAN 总线接口和一个 RS485 接口用于与远方通信，同时有一个 RS232 接口用于现场调试，接口均带光耦隔离。RTU 与远方通信时，其 RS485 接口可选 Modbus 规约或 IEC60870-5-101（DL/T634.5101—2002）规约，CAN 总线接口采用 Hilon B 规约。

3. 选配 IDS-F86

（1）标准功能

1）针对三路开关单元设计。

2）MSP430F1612 硬件平台：高速、低功耗、资源丰富。

3）16 个开关量输入（单遥信），隔离电压为 DC1500V。

4）10 个模拟量输入（遥测）。包括分为 3 组的共计 6 个电流（AC5A），4 个电压（1 个 DC24V，3 个 AC100V，可选 AC220V）。

5）6 个开关量输出（遥控，可用于多至 3 个开关合分），C 型干触头，AC250V8A/DC30V8A。

6）每对两个电流与电压输入配合可实现准确度达 1.0 级的电量计算。

7）1 个 RS485 通信口用于远方通信，最远可达 1200m。

8）通信速率：1200、4800、9600、19200、38400bit/s。

9）CAN 总线通信，采用 Hilon B 规约，通信速率为 10、20、50、100、250、500kbit/s。

10）前端的 RS232 接口用于本地调试。

11）64 个事件顺序记录（SOE），10 个本地 SOE，显示所发生事件的内容的时间。

12）温度范围：$-25 \sim +70$℃。

13）工作电源：DC24（1 ±20%）V，5W。

（2）扩展功能

1）两个开关量脉冲计数：各 65535 个。

2）四个遥信变位计数：各 65535 次。

3）继电器输出保持时间可调：0.2 ~99s。

4）模拟量越限报警功能。

4. 选配 IDS-DTU51

（1）标准功能

1）针对 5 路开关柜设计。

2）可通过面板直接查看并操作。

3）TMS320F2812 数字信号处理器硬件平台，双 CPU 系统，高速响应。

4）可用于单母线分段系统。

5）26 个开关量输入，单遥信、隔离电压为 DC1500V。

6）3 ×5 个电流（AC5A、AC1A 可选），6 个交流电压（3*AC100V），可选 AC220V），0.5 级。

7）2 个直流电压输入，10 ~36V，1.0 级。

8）每对两个电流与电压输入配合可实现准确度达 1.0 级的电量计算。

9）13 个开关量输出（保持时间可调），C 型干触头，AC250V8A，DC30V8A。

10）1 个 RS485 通信口用于远方通信，最远可达 1200m。

11）5 种通信速率可选：1200、4800、9600、19200、38400bit/s。

12）集成 CAN 总线接口，Hilon B 规约，速率为 10、20、50、100、250、500kbit/s。

13）前端的 RS232 接口用于本地调试。

14）80 个 SOE 顺序事件记录，20 个本地 SOE。

15）温度范围：$-15 \sim +70$℃。

16）双工作电源可选：DC24（1 ±20%）V、12W；或 AC/DC85 ~265V，15VA。

（2）扩展功能：

1）5 个开关量脉冲计数：各 65535 个。

2）4 个遥信变位计数：各 65535 次。

3）继电器输出保持时间可调：0.2 ~99s。

4）模拟量越限报警功能。

5. IDS-MMI 智能子站系统

（1）功能特点：

1）PC104 总线结构。

2）CPU 为 100MHz、32 位处理器。

3）VxWORKS 实时嵌入式操作系统。

4）软硬件看门狗技术。

5）2 个对上级主站端的 RS232 接口。

6）对终端通信采用两个通信板，可选功能组合见表 6-10。

表 6-10　可选功能组合

组合	组合 1	组合 2	组合 3	组合 4	组合 5	组合 6
Slot1	4 个 RS485	1 个 Profibus DP	2 个 CAN	4 个 RS485	4 个 RS485	1 个 Profibus DP
Slot2	4 个 RS485	1 个 Profibus DP	2 个 CAN	1 个 Profibus DP	2 个 CAN	2 个 CAN

7）通信协议：IEC60870-5-104，IEC60870-5-101，Modbus，SPA，Hilon B。

8）实时多任务处理机制。

9）送电自启动，自检。

10）2 个典型单环网的故障自动定位，隔离，网络重构。

11）6.4in 彩色液晶显示屏，与主机硬连接。

12）自动/手动关闭显示屏技术。

13）可外接键盘、鼠标、软驱等。

14）RS485 接口有 5 种通信速率可选：1200、4800、9600、19200、38400bit/s。

15）CAN 接口采用 Hilon B 规约，速率为 10、20、50、100、250、500kbit/s。

16）Profibus 接口可扩展与低压系统的通信。

17）不蒸发的 SOE 顺序事件记录。

18）温度范围：0 ~ +55℃。

19）工作电源：DC24（1 ±20%）V，25W（未包括显示屏）或 30W（普通型显示屏）。

（2）选配功能

1）宽温型显示屏：50W，−25 ~ +70℃。

2）无显示屏：−25 ~ +70℃。

3）备自投功能（需与 RTU 配合）。

4）其他的通信协议。

5）2 个 MMI 之间的级联。

6）额外的 2 个典型环网的自动化控制。

7）2 个 MMI 之间的环网控制。

6. IDS-DAS 多功能子站系统

（1）功能特点：

1）标准工控机配置。

2）Windows2000 操作系统。

3）软硬件看门狗技术。

4）2 个 RS232 通信接口，用于与上级通信。

5）12 个 RS485 通信接口，用于与下级通信。

6）CAN 接口可选。

7）通信协议：DL/T 451-1991，IEC60870-5-101，Modbus，SPA，IEC60870-5-104，Hilon B。

8）实时多任务处理机制。

9）8 个典型单环网的故障自动定位、隔离、网络重构。

10）4 种通信速率可选：1200、4800、9600、19200bit/s。

11）不蒸发的 SOE 顺序事件记录。

12）温度范围：0 ~ +40℃。

13）工作电源：AC220（1 ±10%）V，200W。

（2）选配功能：

1）备自投功能（需与 RTU 配合）。

2）其他的通信协议。

3）2 个子站之间的级联。

六、变压器及线路继电保护

Safe Ring 型开关柜提供了两种变压器保护方式，即负荷开关熔断器组合电器和具有继电器保护的断路器。

1. 使用负荷开关熔断器组合电器模块

变压器保护为限流高压熔断器与负荷开关的组合。熔断器室将安装在一个位于单元前部独立的有闭锁的外壳后面。负荷开关使用弹簧储能机构，该机构可由熔断器撞针触发。

为了便于熔断器的更换，可以使用操作手柄来拆卸熔断器室的端盖。熔断器的跳闸机构前置，保证了整个系统的防水性能。

Safe Ring 型开关柜的负荷开关熔断器组合电器使用弹簧撞针式的后备保护式限流熔断器，安装时撞针侧朝向开关柜前部。

环境温度为 −40℃ ~ +40℃时，使用 ABB CEF 型熔断器，在额定负荷的正常操作条件下熔断器的电流见表 6-11。

表 6-11　额定负荷时的电流　（单位：A）

100% U_N/kV	变压器额定容量/kV·A																CEF 型熔断器
	25	50	75	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	
3	16	25	25	40	40	50	50	80	100	125	160	160					7.2kV
3.3	16	25	25	40	40	50	50	63	80	100	125	160					
4.15	10	16	25	25	40	40	50	50	63	80	100	125	160				
5	10	16	25	25	25	40	40	50	50	63	80	100	160	160			
5.5	6	16	16	25	25	25	40	50	50	63	80	100	125	160			
6	6	16	16	25	25	25	40	40	50	50	80	100	125	160	160		
6.6	6	16	16	25	25	25	40	40	50	50	63	80	100	125	160		
10	6	10	10	16	16	25	25	25	40	40	50	50	80	80	125	125	12kV
11	6	6	10	16	16	25	25	25	25	40	50	50	63	80	100	125	
12	6	6	10	16	16	16	25	25	25	40	40	50	63	80	100	125	

注：使用其他品牌的熔断器时，参数可能会有所改变。

环境温度为 -40℃ ~ +40℃时，使用 ABB CEF 型熔断器，在最大 20% 过负荷并在正常操作条件下熔断器的电流见表 6-12。

表 6-12　最大 20%过负荷时 ABB CEF 型熔断器的电流　　（单位：A）

120% U_N/kV	变压器额定容量/kV·A																CEF 型熔断器
	25	50	75	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	
3	16	25	25	40	40	50	63	80	100	125	160						
3.3	16	25	25	40	40	50	63	80	80	100	125						
4.15	10	16	25	25	40	40	50	63	80	80	100	125					
5	10	16	25	25	25	40	40	50	63	80	80	125	160				7.2kV
5.5	6	16	16	25	25	25	40	50	50	80	80	100	125	160			
6	6	16	16	25	25	25	40	40	50	63	80	100	125	160			
6.6	6	16	16	25	25	25	40	40	50	63	80	80	100	125			
10	6	10	10	16	16	25	25	25	40	40	50	63	80	80	125		
11	6	6	10	16	16	25	25	25	25	40	50	50	80	80	100	125	12kV
12	6	6	10	16	16	16	25	25	25	40	40	50	63	80	100	125	

注：使用其他品牌的熔断器时，参数可能会有所改变。

2. SEG 的 WIC1-2PE 型继电器与真空断路器 Safe-V 模块配合，实现变压器、线路的继电保护功能

该继电器基于数字技术，保护系统的电源取自电流互感器，无需外部供电，具有反时限保护和接地故障保护功能。

WIC1-2PE 是一种具有反时限和定时限特性的 CT 自供电型保护继电器。该继电器接线安全简单，具有很高的抗电磁干扰性能，调节方便，并且能够适应不同容量的开关柜。

WIC1-2PE 继电器可实现的保护功能：

1）可选择的三相反时限过电流保护和定时限短路故障保护；

2）动作时间可调的三相定时限过电流和短路故障保护；

3）通过内部计算而实现的定时限接地过电流保护。

过电流保护 $I>$：

定时限动作电流：$(0.9 \sim 2.5)I_s$　　动作时间：0.04 ~300s

反时限动作电流：$(0.9 \sim 2.5)I_s$　　反时限电流时间曲线动作方式

短路故障保护 $I>>$

定时限动作电流：$(1 \sim 20)\ I_s$　　动作时间：0.04s ~3s

接地故障保护 $I_e>$

定时限动作电流：$(0.2 \sim 2.5)I_s$　　动作时间：0.1s ~20s

WIC1 保护系统可配置以下 4 种不同量程的 CT，见表 6-13。

表 6-13　WIC1 保护系配置的电流互感器量程

CT 类型	额定的一次电流范围/A	CT 类型	额定的一次电流范围/A
WIC1-W2	16 ~56	WIC1-W4	64 ~224
WIC1-W3	32 ~112	WIC1-W5	128 ~448

采用 WIC1 继电器的保护系统能够做到 25 年免维护。

3. SPAJ140C 型过电流、短路、接地保护继电器

电压范围：DC（18～265）V 或（80～265）V。

配 ASG 型保护 CT：二次电流为 5A。

数字显示整定值、电流测量值和记录的故障数据。

整定值面板按钮或计算机设定。

可提供各段保护无源信号节点。

内部故障（软件和硬件）的连续自检与报警输出。

低定值过电流段 $I>$

定时限动作电流：（0.5～5.0）I_n；动作时间：0.05～300s。

反时限动作电流：（0.5～2.5）I_n；按电流时间反时限曲线动作方式。

高定值过电流段 $I>>$

动作电流：0.5～$40I_n$；动作时间：0.04～300s。

低定值零序过电流段 $I_0>$

定时限动作电流：0.1～$0.8I_n$；动作时间：0.05～300s。

反时限动作电流：0.1～$0.8I_n$；按电流时间反时限曲线动作方式。

高定值零序过电流段 $I_0>>$

动作电流：0.1～$10I_n$；动作时间：0.05～300s。

七、电气主接线

1. 模块型式

当配电所采用 Safe 系列开关柜时，可根据实际用电负荷的需要，选用不同的开关柜模块，组成安全、经济、可靠的电气主接线方案。

Safe PIUS 系列开关柜的模块有以下几种：

1）C 型负荷开关模块；

2）D_e 型带接地开关的电缆连接模块；

3）D 型不带接地开关的电缆连接模块；

4）F 型负荷开关熔断器组合电器模块；

5）V 型真空断路器模块；

6）S_L 型母线分段负荷开关模块；

7）S_vS_r 型母线分段真空断路器模块及 Br 型母线提升模块；

8）B_e 型母线接地模块；

9）M/（PT）型 12kV 测量仪表及电能计量模块；

10）CB 型真空断路器模块。

2. Safe Pius 组合型开关柜电气主接线

10kV 单电源、单母线不分段、单台配电变压器供电时，可选用 V 型真空开关模块，作为 10kV 电源的进线设备，电能计量选用 M 型测量仪表及电能计量模块，配电变压器电源进线选用 V 型真空开关模块，及 10kV 电源出线选用 CB 型真空断路器模块。

10kV 配电所双电源进线、单母线分段、双配电变压器供电时，应增设 CB 型真空断路器模块及 Br 型母线提升模块，第二台配电变压器所选用的开关柜模块，与第一台配电变压器的相同，电气主接线如图 6-4 所示，图中仅画至 Br 型母线提升模块。

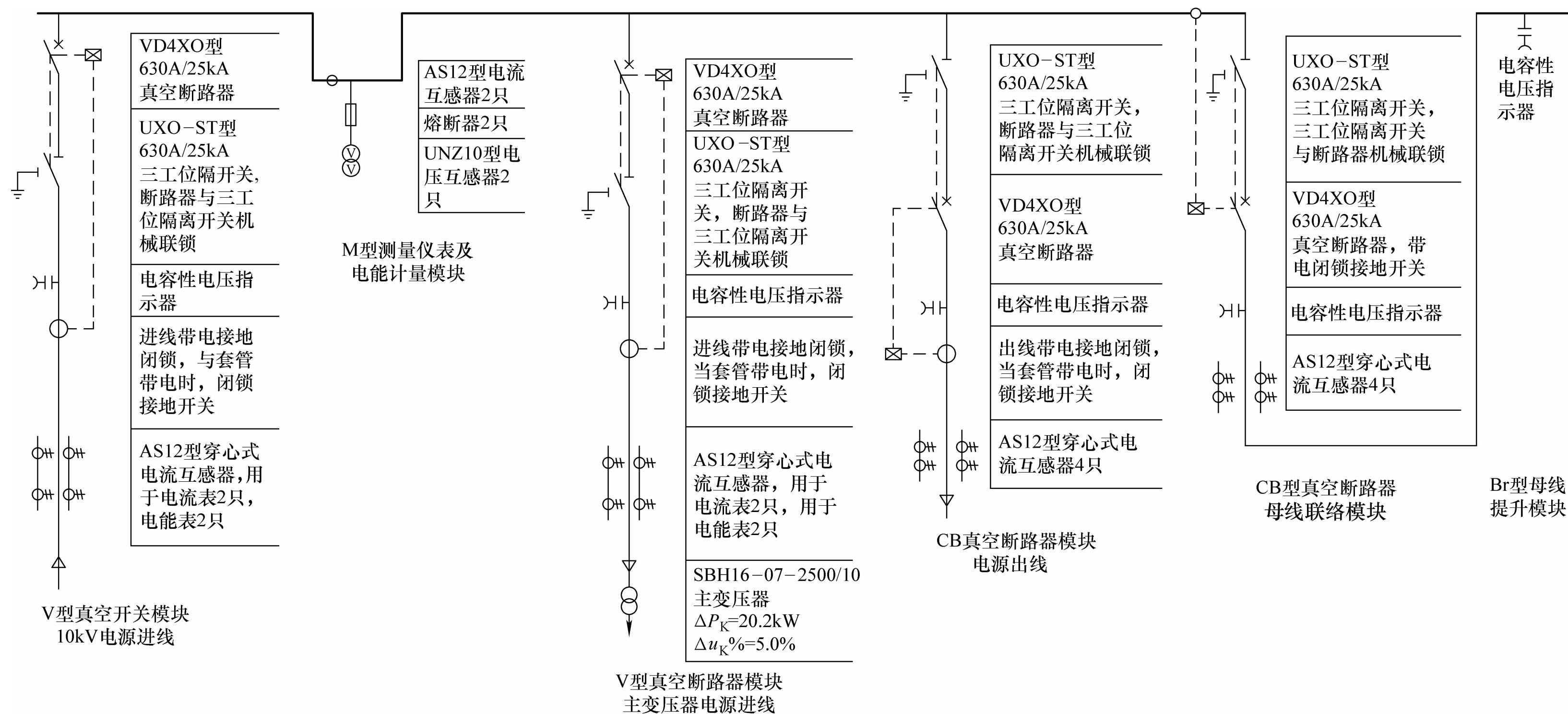


图 6-4　双电源、单母线分段、双配电变压器供电的电气主接线

第四节　10kV 开关柜的安装及调试

一、室内、外配电装置的最小电气安全净距（见表 6-14）

表 6-14　室内、外配电装置的最小电气安全净距　（单位：mm）

序号	适用范围	场　所	额定电压/kV	
			<0. 5	10
1	无遮栏裸带电部分至地（楼）面之间	室内	屏前 2500 屏后 2300	2500
		室外	2500	2700
2	有 IP2X 防护等级遮栏的通道净高	室内	1900	1900
3	裸带电部分至接地部分和不同相的裸带电部分之间	室内	20	125
		室外	75	200
4	距地（楼）面 2500mm 以下裸带电部分的遮栏防护等级为 IP2X 时，裸带电部分与遮护物间水平净距	室内	100	225
		室外	175	300
5	不同时停电检修的无遮栏裸导体之间的水平距离	室内	1875	1925
		室外	2000	2200
6	裸带电部分至无孔固定遮栏	室内	50	155
7	裸带电部分至用钥匙或工具才能打开或拆卸的栅栏	室内	800	875
		室外	825	950
8	低压母排引出线或高压引出线的套管至室外人行通道地面	室外	3650	4000

注：海拔超过 1000m 时，表中前 3 项数值应按每升高 100m 增大 1% 进行修正。4 ~ 8 项数值应相应加上前 3 项的修正值。

10kV 高压配电室内各种通道的最小宽度见表 6-15。

表 6-15　10kV 高压配电室内各种通道的最小宽度　（单位：mm）

开关柜布置方式	柜后维护通道	柜前操作通道	
		固定式	手车式
单排布置	800	1500	单车长度 +1200
双排面对面布置	800	2000	双车长度 +900
双排背对背布置	1000	1500	单车长度 +1200

注：1. 固定式开关柜为靠墙布置时，柜后与墙净距应大于 50mm，侧面与墙净距应大于 200mm。
2. 通道宽度在建筑物的墙面遇有柱类局部凸出时，凸出部位的通道宽度可减少 200mm。

当电源从柜（屏）后进线且需在柜（屏）正背后墙上另设隔离开关及其手动操动机构时，柜（屏）后通道净宽不应小于 1. 5m，当柜（屏）背面的防护等级为 IP2X 时，可减为 1. 3m。

配电装置的长度大于 6m 时，其柜（屏）后通道应设两个出口，低压配电装置两个出口间的距离超过 15m 时，应增加出口。

二、安装及调试的基本原则

1. 基础形式

1）开关柜的安装基础的施工应符合《电力建设施工及验收技术规范》中的有关条款规定。

2）开关设备的安装基础一般要分两次浇灌混凝土，第一次为开关柜安装构件（即角钢或方钢构件）安装基础。第二次浇灌混凝土是地面的补充层，一般厚度为 60mm，在浇注混

凝土补充层时，混凝土高度应低于构件平面 1～3mm。

3）在基础构架安装时，要保证安装质量，框架安装的技术标准为 $1m^2$ 公差为 1mm。

2. 开关柜的安装

1）柜体单列时，柜前走廊以 2.5m 为宜，双列布置时，柜间操作走廊以 3m 为宜。

2）按工程需要，在图样上标明，将开关柜运到特定的位置，如果一排较长的开关柜排列（为 10 台以上），拼柜工作应以中间部位开始。

3）开关柜在运输过程中，应使用特定的运输工具如起重设备或叉车，严禁使用滚筒撬棍；且严禁将断路器手车推入柜体一起搬运，断路器手车（以及其他手车）只有在柜体安装好以后再推入小室。

4）松开母线室顶盖螺栓，卸去顶盖。

5）在母线室前面松开固定螺栓，卸下装卸式隔板。

6）松开断路器手车室下面的可抽出式隔板的固定螺栓，并将水平隔板卸下。

7）松开和移去电缆盖板。

8）从开关柜左侧控制小线槽移去盖板，右前方控制线槽盖板亦同时卸下。

9）卸下吊装板及紧固件。

10）在此基础上，一台接一台地安装开关柜，包括水平和垂直两方面，开关柜安装水平度公差不得超过 2mm。

11）当开关柜已完全组合（拼接）好时，可用 M12 的地脚螺栓将其与基础框架相连或用电焊与基础框架焊牢。

3. 母线的安装

开关柜中的母线均采用矩形母线，且为分段形式，当选用不同电流时，所选用的母线只是数量规格不一，因而在安装时必须遵照下列的步骤：

1）用清洁干燥的软布擦拭母线，检查绝缘套管有否损伤，在连接部位涂上导电膏或者是中性凡士林。

2）一台柜接一台柜地安装母线，将母线段和对应的分支小母线接在一起，拴接时应插入合适的垫块，用螺栓拧紧。

4. 开关柜的接地装置

1）用预设的连接板将各柜的接地母线连接在一起。

2）在开关柜内部连接所有需要接地的引线。

3）将基础柜架与接地排相连，如果柜子排列超过 10 台以上，必须有两个以上的接地排。

4）将接地开关的地线与开关接地主母线连接。

5. 开关柜安装后的检查

当开关柜安装就位后，清除柜内设备上的灰尘杂物，然后检查全部紧固螺栓有无松动，接线有无脱落，将断路器在柜中推进、推出，并进行分合闸动作，观察有无异常。将仪表的指针调整到零位，根据线路图检查二次接线是否正确，对继电器进行调整，检查联锁是否有效。

三、10kV 开关柜的安装尺寸及设备材料

1. 10kV 开关柜的平面布置

10kV 开关柜的双列平面布置如图 6-5 所示。

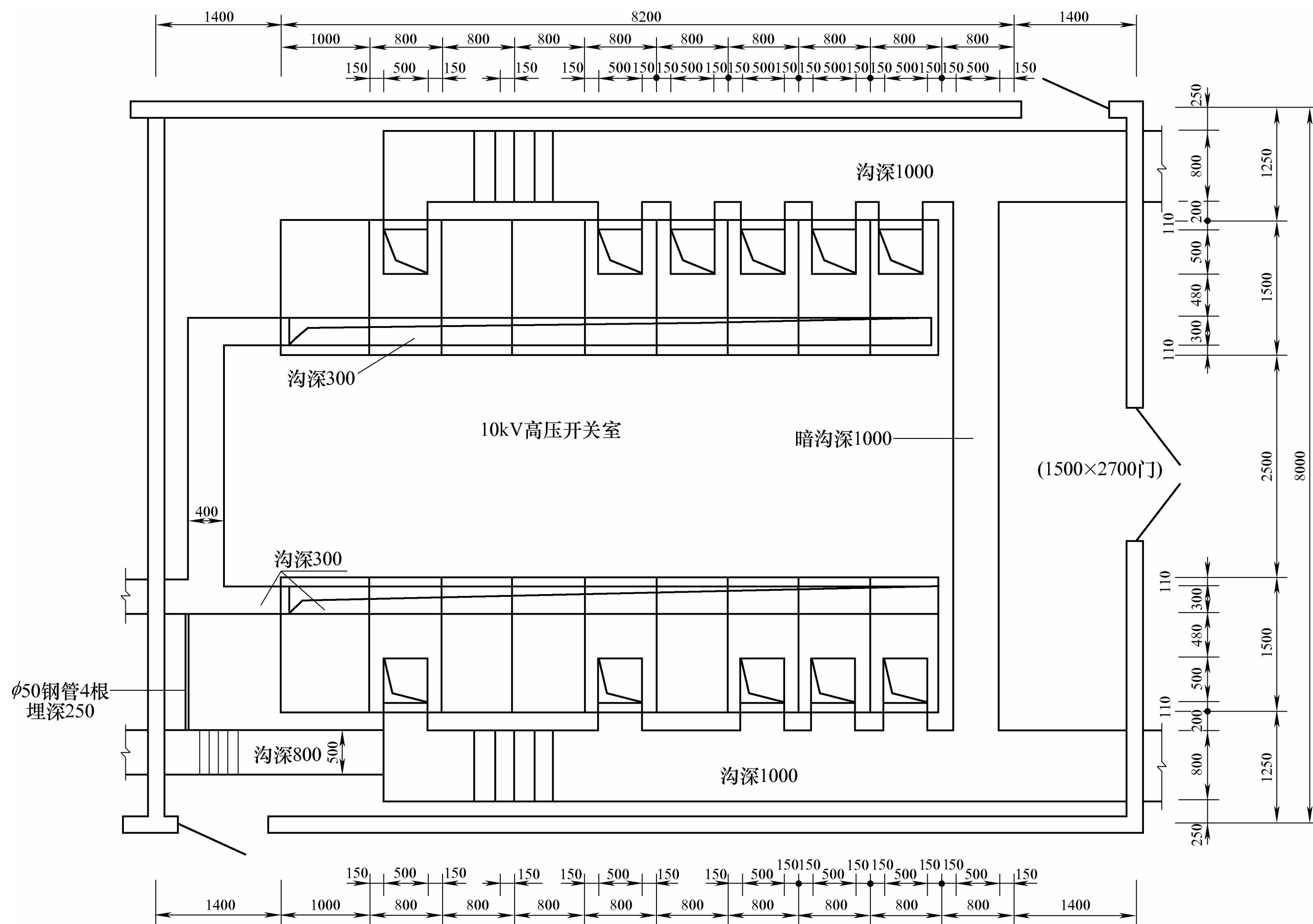


图 6-5　10kV 开关柜的双列平面布置

2. XGN2 型固定式开关柜的安装

XGN2 型固定式开关柜架空进线的安装如图 6-6 所示，主要设备材料见表 6-16。

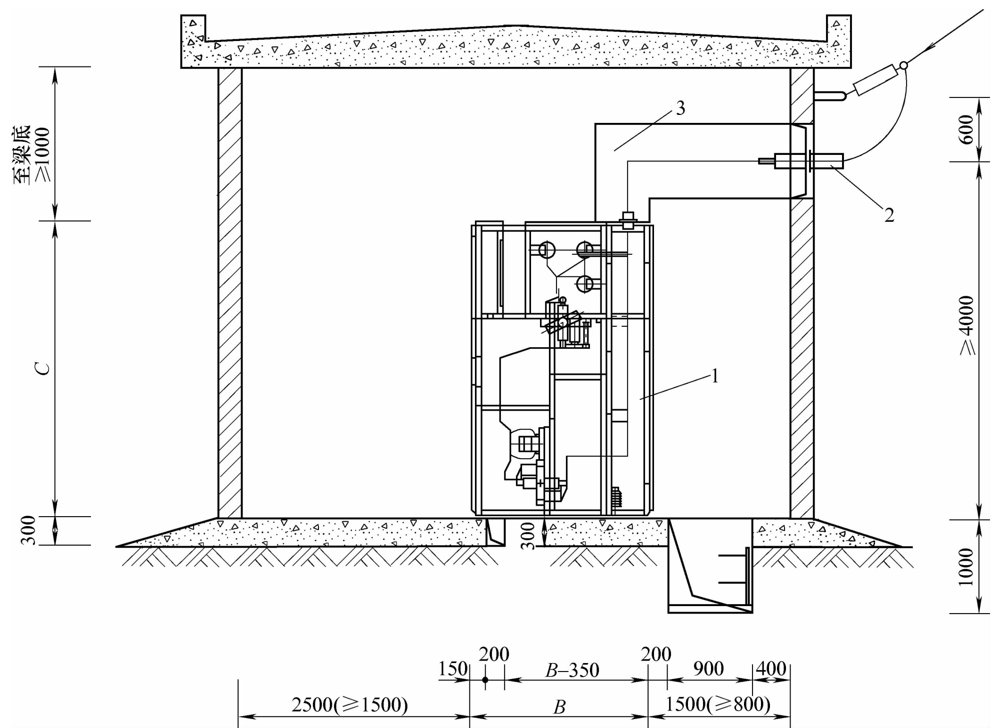


图 6-6 XGN2 型固定式开关柜架空进线的安装

1—XGN2 型开关柜 2—CWW—10 型 10kV 穿墙套管 3—GMM-10 型母线桥

表 6-16 XGN2 型固定式开关柜架空进线安装的主要设备材料

序 号	名 称	型号及规格	单位	数量	备 注
1	10kV 固定式开关柜	XGN-10	台	9	
2	10kV 穿墙套管	CWW-10	只	3	
3	10kV 封闭母线桥	GMM-10	m	1.2	根据现场确定

10kV 穿墙套管的安装如图 6-7 所示，主要设备材料见表 6-17。

XGN2—10 型固定式开关柜电缆进线的安装如图 6-8 所示。

表 6-17 10kV 穿墙套管安装的主要设备材料

序 号	名 称	型号及规格	单位	数量	备 注
1	钢板	1200×600，$\delta=10$	块	1	
2	螺栓螺母全套	M14×50	套	12	附弹簧垫圈、垫片
3	10kV 穿墙套管	CWW-10/1000	只	3	

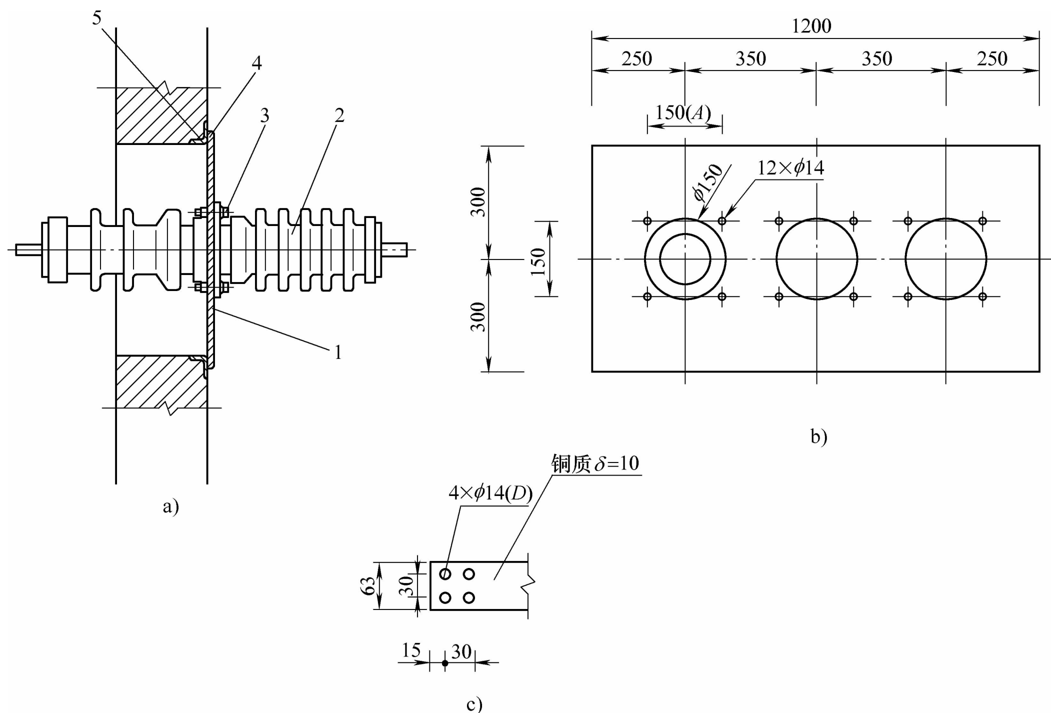


图 6-7　10kV 穿墙套管的安装图

a）安装图　b）钢板加工图　c）接线端子

1—钢板　2—穿墙套管　3—螺栓螺母　4—周边满焊　5—土建预埋角铁

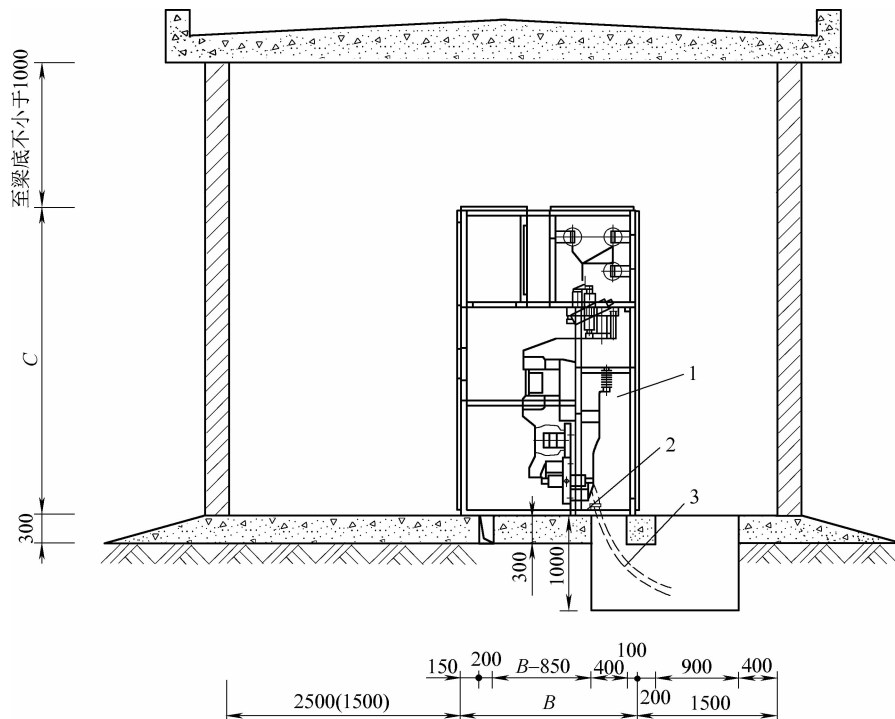


图 6-8　XGN2-10 型固定式开关柜电缆进线的安装

1—10kV 固定式开关柜　2—10kV 电缆终端　3—10kV 电力电缆

3. KYN28-12 系列移开式开关柜的安装

KYN28-12 系列移开式开关柜电缆进线的安装如图 6-9 所示。

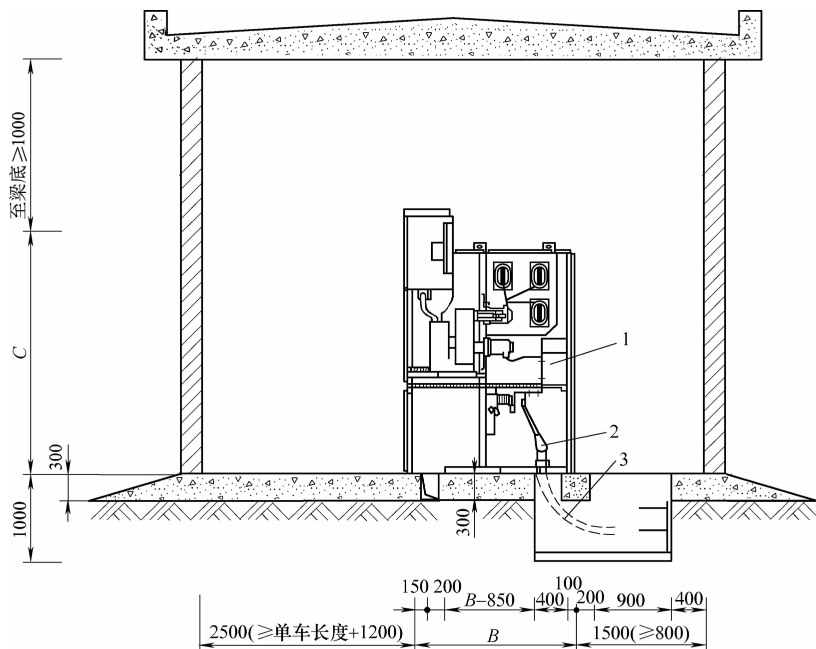


图 6-9　KYN28-12 系列移开式开关柜电缆进线的安装

1—10kV 移开式开关柜　2—10kV 电缆终端　3—10kV 电力电缆

注：B 为柜深，单位为 mm。

KYN28-12 系列移开式双面维护型开关柜安装如图 6-10 所示。

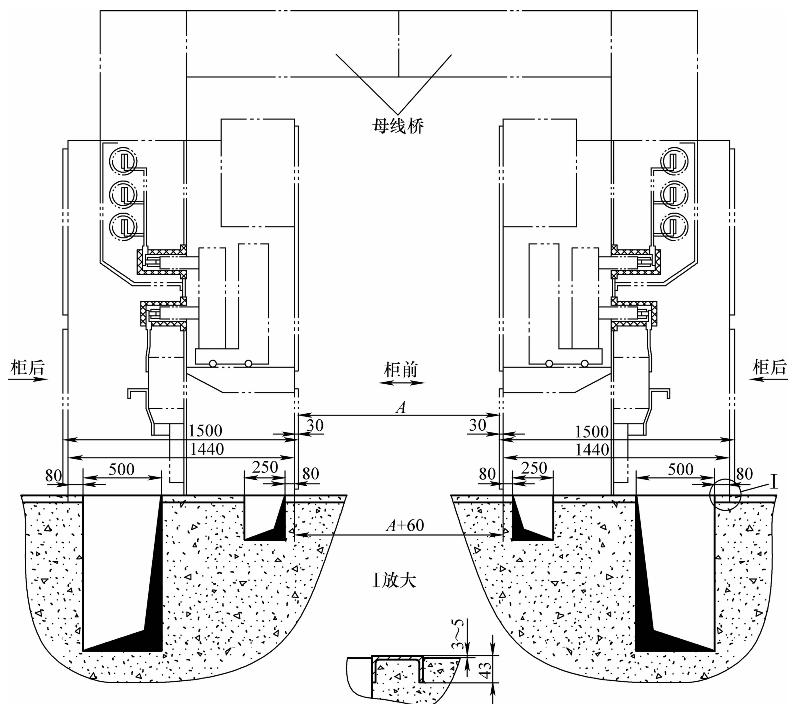


图 6-10　KYN28-12 系列移开式双面维护型开关柜安装

KYN28-12 系列移开式开关柜的安装基础如图 6-11 所示，安装基础尺寸见表 6-18。

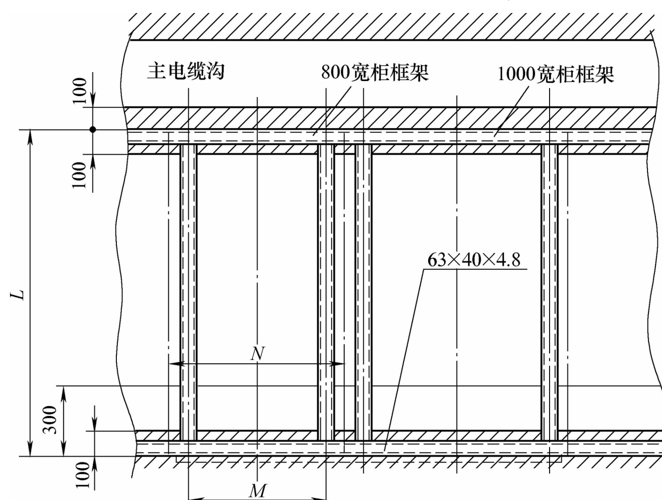


图 6-11　KYN28-12 系列移开式开关柜的安装基础示意图

表 6-18　KYN28-10 系列开关柜的安装基础尺寸　　（单位：mm）

柜宽 *A*	柜深 *B*	*M*	*N*	*L*
800	1500 电缆	630	800	1450
	1660 架空			1610
1000	1500 电缆	830	1000	1450
	1660 架空			1610

KYN28-10 系列开关柜的安装尺寸如图 6-12 所示，安装尺寸见表 6-19。

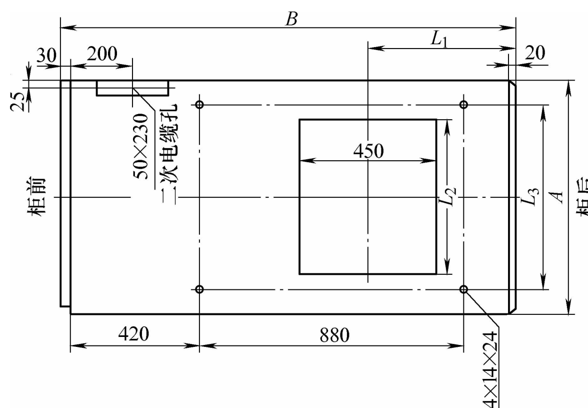


图 6-12　KYN28-10 系列开关柜的安装尺寸示意图

表 6-19　KYN28-10 型开关柜的安装尺寸　　（单位：mm）

柜宽 *A*	柜深 *B*	L_1	L_2	L_3
800	1500 电缆	490	530	630
	1660 架空	650		
1000	1500 电缆	490	730	830
	1660 架空	650		

4. Safe-CB/B-12 型开关柜的安装

Safe-CB/B-12 型开关柜的外形结构如图 6-13 所示。

Safe Plus 型开关柜与 Safe-CB 型开关柜连接时基础槽钢的安装如图 6-14 所示。

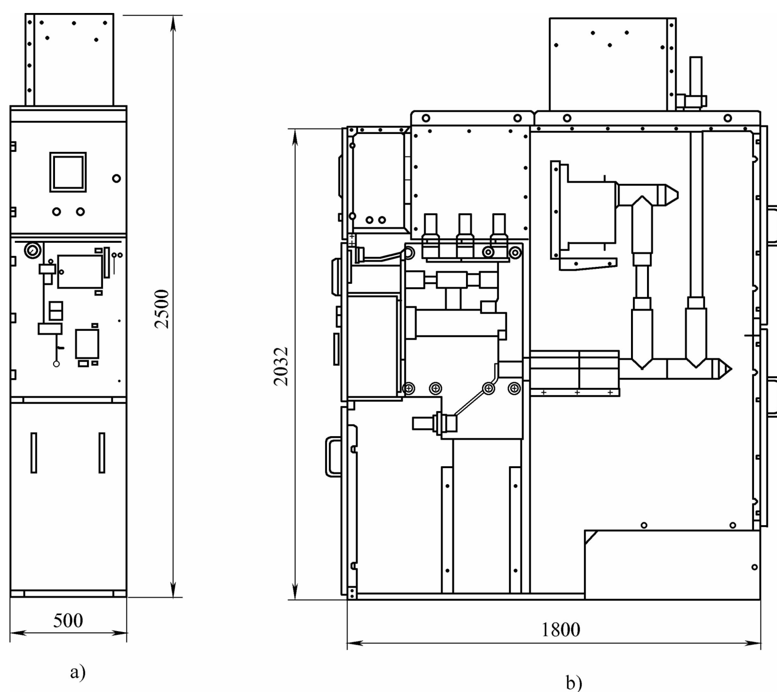


图 6-13　Safe-CB/B-12 型开关柜的外形结构

a）正视图　b）内部结构

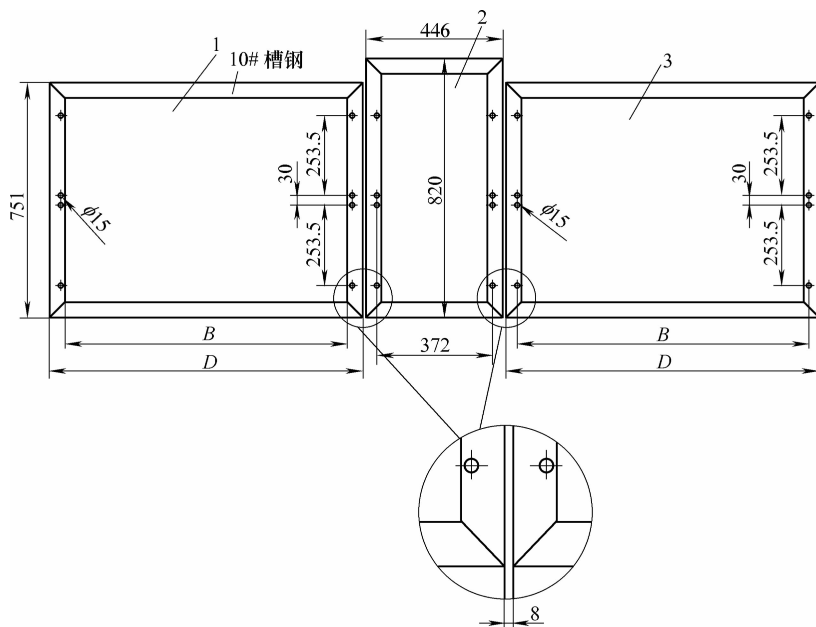


图 6-14　Safe Plus 型开关柜与 Safe-CB 型开关柜连接时基础槽钢的安装

1—Safe 型开关柜　2—Safe-446CB 型开关柜　3—Safe 型开关柜

Safe 系列开关柜标准单元基础安装如图 6-15 所示，安装尺寸见表 6-20。

表 6-20　Safe 系列开关柜标准单元基础安装尺寸　（单位：mm）

路　　数	*A*	*B*	*C*	*D*
1 路	371	297	336	371
2 路	696	622	663	696
3 路	1021	947	988	1021
4 路	1346	1272	1313	1346
5 路	1671	1597	1636	1671
6 路	1996	1922	1961	1996

a)

图 6-15　Safe 系列开关柜标准单元基础安装图

a）安装结构

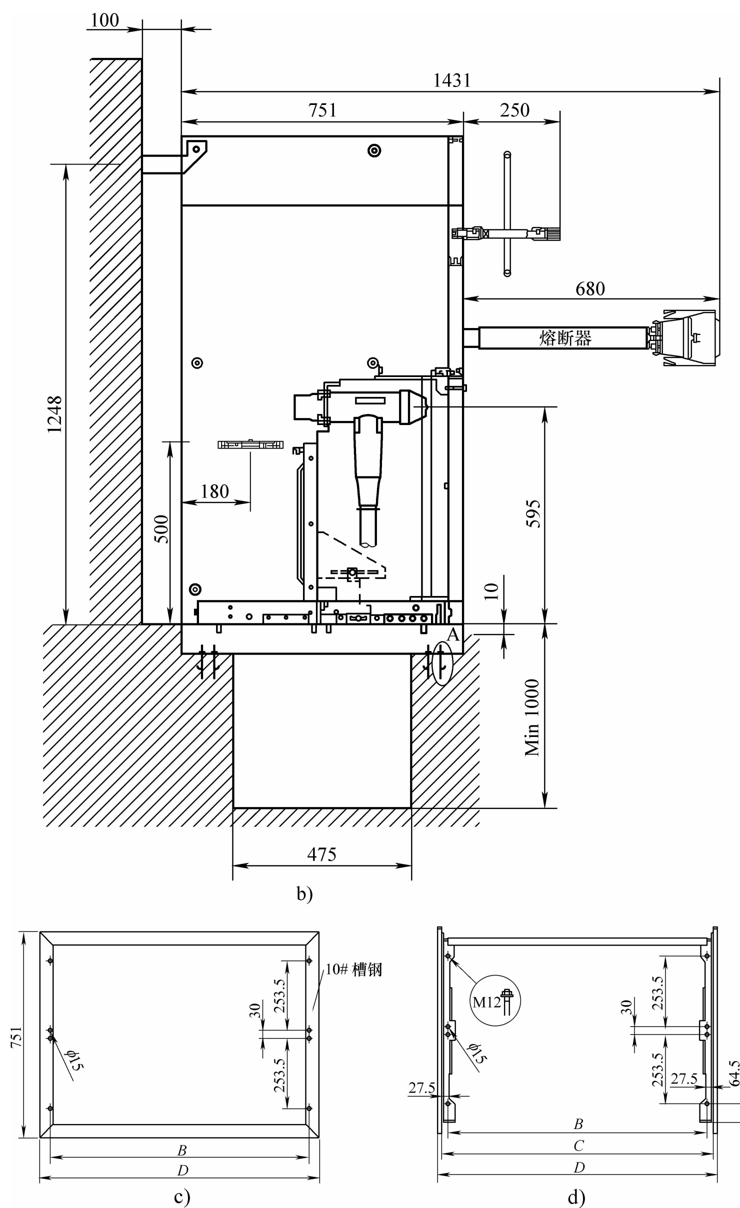


图 6-15　Safe 系列开关柜标准单元基础安装图（续）
b）Ⅰ—Ⅰ视图　c）基础槽钢俯视图　d）支架底面地脚图

四、10kV 开关柜的安装基础

10kV 开关柜的土建工艺如图 6-16 所示。



图 6-16　10kV 开关柜的土建工艺

a）土建工艺平面图　b）Ⅰ—Ⅰ剖视图　c）Ⅱ—Ⅱ剖视图

开关柜地脚螺栓预埋示意图如图 6-17 所示。

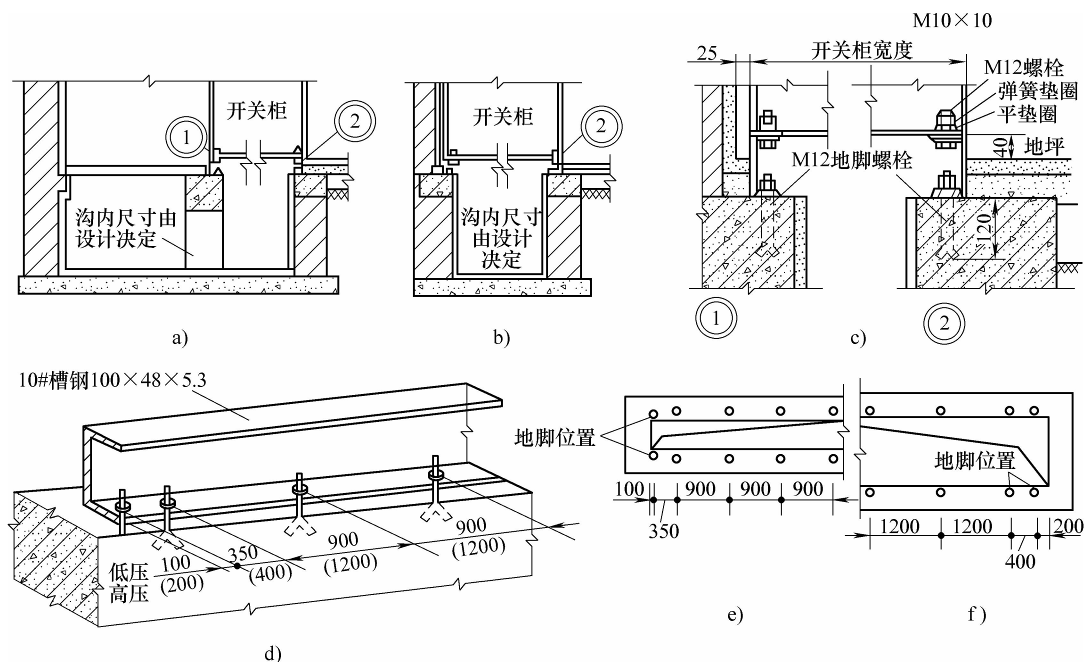


图 6-17　开关柜地脚螺栓预埋示意图

a）低压开关柜　b）高压开关柜　c）①、②视图　d）开关柜底座　e）低压开关柜地脚尺寸　f）高压开关柜地脚尺寸

五、10kV 开关柜的安装注意事项

1）开关柜安装前，首先应检查安装基础是否合格、基础槽钢布置及开关柜一、二次电缆开孔。

2）拆箱后，应首先保管好随箱文件资料，并根据装箱单检查随柜备件、附件是否齐全，并做相关记录，然后检查开关柜有没有明显的损坏，如没有问题，可吊装就位进入安装。

3）彻底清扫开关柜内的灰尘和异物，对所有绝缘件的内外表面用工业酒精或丙酮仔细擦拭干净，对有裂纹或破损的绝缘件应及时更换。

4）将开关柜按排列顺序放置在基础上，调整好成组开关柜的直线度、垂直度、水平度，然后用 M12 螺栓或用点焊方法将开关柜紧固在基础的槽钢上。

5）用 M12×30 螺栓进行柜间连接。

6）安装主母线，打开母线室顶盖板进行安装，安装好后紧固顶盖板，连接母线时接触应平整、无污物，有污物时应除净，涂中性凡士林油。

7）安装一次电缆，电缆头制作完后，将电缆头固定在支架上，电缆与母线接触面应平整，接触面上涂中性凡士林油后即可连接，并紧固，电缆施工完后应用隔板将电缆室与电缆沟封隔。

8）连接柜间接地母线，使沿开关柜排列方向连成一体，检查工作接地和保护接地是否有漏接，接地回路是否连续导通，工作接地电阻应不大于 0.1Ω，保护接地电阻应不大于 4Ω。

9）安装二次回路电缆，电缆由机构左侧底穿入，顺侧壁进入继电器室，分接到相应的

端子排上，施工时应注意电缆号、端子号不漏穿或穿错，二次电缆施工完后，注意勿忘封盖电缆孔。

六、验收试验项目

1）根据订货资料查对柜内安装的电气元件型号、规格是否相符。

2）检查紧固件是否松动，发现有松动的应予拧紧。

3）检查母线连接处接触是否严密，如有接触不良，应进行修理。

4）手动操动隔离开关、断路器、机械联锁程序等 3 ~ 5 次，应灵活无卡住现象，且应动作准确，程序无误。

5）检查断路器，隔离开关的机械特性，是否符合其本身规定的要求。

6）检查二次接线是否符合详图要求，在主回路不通电情况下，对二次回路通电进行动作试验，应符合二次接线图的要求。

7）主回路电阻测量。因开关柜方案多，各相电阻值尚待确定，暂定测量部位为断路器和电气连接端子，断路器不超过其标准规定值，电气连接端子接触电阻应不大于 1μΩ，测量方法采用直流电压降法，通以 100A 直流电流，测其电压降。

8）二次回路绝缘强度试验，在导体与外壳之间，施加交流 50Hz、电压 2000V、历时 1min，应无击穿放电现象，二次回路中有电子元器件部分，试验电压由制造厂与用户商定。

9）主回路工频绝缘电压试验，在相对地和相间。施加交流 50Hz 根据开关柜的额定电压，按 GB 311. 1—1997《高压输变电设备的绝缘配合》规定值的 85% 历时 1min 应无击穿闪络现象。

第五节　开关柜的运行操作

一、开关柜的操作原则

1）送电操作如下：

①关上柜后门。

②关上柜面下小门。

③关上柜面上门。

④合上上隔离开关。

⑤合上下隔离开关。

⑥用相应钥匙，合上对应开关。

2）停电操作，顺序与送电相反。

3）只有当开关柜下隔离开关拉开后，方能合上该线路接地开关（挂接地线）。

4）进入开关柜内工作：设备在冷备用状态，验电接地后，先开柜右上门，后开柜右下门，最后开柜背后门进入柜内。

二、开关柜的机械联锁操作

为了防止带负荷分合隔离开关；防止误分误合断路器；防止误入带电间隔；防止带电合接地开关；防止带接地开关合闸。开关柜采用相应的机械联锁，机械联锁的操作原理如下：

1. 运行转检修停电操作

开关柜处于工作位置，即上下隔离开关、断路器处于合闸状态，前后门关闭且已锁好，

并处于带电运行中，这时的小手柄处于工作位置。

先将断路器分断。再将小手柄扳到“分断闭锁”位置，这时断路器不能合闸，将操作手柄插入下隔离开关的操作孔内，从上往下拉，拉到下隔离开关分闸位置，将操作手柄拿下，再插入上隔离开关操作孔内从上往下拉，拉到上隔离开关分闸位置，将操作手柄拿下，插入接地开关操作孔内从下往上推，使接地开关处于合闸位置，这时可将小手柄扳至“检修”位置，可先打开前门，从门后取出后门钥匙打开后门，停电操作完毕，检修人员可对断路器及电缆室进行维护和检修。

2. 检修转运行送电操作

若已检修完毕，需要送电时，首先将后门关好并锁好，把钥匙取出放至前门后面锁孔内，然后关好前门，将小手柄从检修位置扳至分断闭锁位置，这时前门被锁定，断路器不能合闸，用操作手柄插入接地开关操作孔内，从上向下拉，使接地开关处于分闸位置，将操作手柄拿下，再插入上隔离开关的操作孔内，从下往上推，使上隔离开关处于合闸位置，将操作手柄拿下，插入下隔离开关的操作孔内，从下向上推，使下隔离开关处于合闸位置，取出操作手柄，将小手柄扳至工作位置，这时可将断路器合闸。

3. 使用联锁时的注意事项

1）开关柜的联锁功能是以机械联锁为主，辅之以电气联锁实现其功能的，功能上能实现开关柜“五防”闭锁的要求，但是操作人员不能因此而忽视操作规程的要求，只有规程制度与技术手段相结合才能有效发挥联锁装置的保障作用，防止误操作的发生。

2）开关柜的联锁功能的投入与解除，大部分是在正常操作过程中同时实现的，不需要额外的操作步骤。如发现操作受阻，如操作阻力增大，应首先检查是否有误操作，而不应强行操作，以致损坏设备，甚至导致操作事故的发生。

3）开关柜有些联锁因特殊需要允许紧急解锁，如柜体下面板和接地开关的联锁，紧急解锁的使用必须慎重，不宜经常使用，使用时也要采取必要的防护措施，一经处理完毕，应立即恢复联锁原状。

三、开关柜的具体操作程序

1. 无接地开关的断路器柜的操作

1）将断路器可移开部件装入柜体。断路器小车准备由柜外推入柜内前，应认真检查断路器是否完好，有无漏装部件，有无工具杂物放在机构箱或开关内，确认无问题后将小车装在转运车上并锁定好。将转运车推到柜前，把小车升到合适位置，将转运车前部定位锁板插入柜体中隔板插口，并将转运车与柜体锁定之后，打开断路器小车的锁定钩，将小车平稳推入柜体同时锁定，当确认已将小车与柜体锁定好之后，解除转运车与柜体的锁定，将转运车推开。

2）小车在柜内操作。小车从转运车装入柜体后，即处于柜内断开位置。若想将小车投入运行，首先使小车处于试验位置，然后应将辅助回路插头插好，若通电则仪表室面板上试验位置指示灯亮，此时可在主回路未接通的情况下对小车进行电气操作试验。若想继续进行操作，首先必须把所有柜门关好，然后用钥匙插入门锁孔，把门锁好，并确认断路器处于分闸状态，此时可将手车操作摇把插入中面板上操作孔内，顺时针转动摇把，直到摇把明显受阻，并听到清脆的辅助开关切换声，同时室面板上工作位置指示灯亮，之后取下摇把。此时，主回路接通，断路器处于工作位置，可通过控制回路对其进行合、分操作。

若准备将小车从工作位置退出，首先应确认断路器已处于分闸状态，然后插入手车操作摇把，逆时针转动直到摇把受阻，并听到清脆的辅助开关切换声，小车便回到试验位置。此时，主回路已经完全断开，金属活门关闭。

3）从柜中取出小车。若准备从柜内取出小车，首先应确认断路器已处于试验位置，然后解除辅助回路插头，并将动插头扣锁在手车架上，此时将转运车推到柜前（与把小车装入柜内时相同），最后将手车解锁并向外拉出。当手车完全进入转运车并确认转运车锁定，解除转运车与柜体的锁定，把转运车向后拉出适当距离后，轻轻放下停稳。如小车要用转运车运输较长距离时，在推动转运车过程中要格外小心避免运输过程中发生意外事故。

4）断路器在柜内的分、合闸指示灯两方判定。若透过柜体中面板观察玻璃窗看到手车面板上绿色的分闸指示牌判定断路器处于分闸状态，此时如果辅助回路插头接通电，则仪表面板上分闸指示灯亮。

2. 有接地开关的断路器柜的操作

将断路器手车推入柜内和从柜内取出手车的程序，与无接地开关的断路器柜的操作程序完全相同，仅当手车在柜内操作过程中和操作接地开关过程中要注意的事项如下：

1）手车在柜内操作。当准备手车推入工作位置时，还应确认接地开关处于分闸状态，否则下一步操作无法完成。

2）合、分接地开关操作。若要合接地开关，首先应确定手车已退到断开位置，并取下推进摇把，然后按下接地开关操作孔处联锁弯板，插入接地开关操作手柄，顺时针转动90°，接地开关处于合闸状态，若再逆时针转动90°，便将接地开关分闸。

3. 一般隔离的操作

隔离手车不具备接通和断开负荷电流的能力，因此在带负荷的情况下，不允许推拉手车，在进行隔离手车在柜内操作时，必须保证首先将与之相配合的断路器分闸，同时断路器分闸后其辅助触头转换解除与配合的隔离手车上的电气联锁，只有这时才能操作隔离手车，具体操作程序同操作断路手车相同。

四、开关柜操作注意事项

1）开关柜机械联锁操作时的注意事项见本节“二、开关柜的机械联锁操作”。

2）开关柜的检修除按有关规程要求进行外，建议用户特别注意以下几点：

①按真空断路器的安装使用说明书的要求，检查断路器的情况，并进行必要的调整。

②检查手车推进机构及其联锁的情况，使其满足本说明书有关要求。

③检查主回路触头的情况，擦除动静触头上陈旧油脂，察看触头有无损伤，弹簧力有无明显变化，有无因温度过高引起镀层异常氧化现象，如有以上情况，应及时处理。

④检查接地回路各部分的情况，如接地触头、主接地线及过门接地线等，保证其导电连续性。

⑤检查各部分紧固件，如有松动，应及时紧固。

第六节　开关柜的运行维护

一、开关柜运行巡视和投运前检查

1. 固定式开关柜运行巡视和投运前检查

（1）固定式开关柜投运前的检查

1）检查漆膜有无剥落，柜内是否清洁。

2）操动机构是否灵活，不应有卡住或操作力过大现象。

3）断路器、隔离开关等设备通断是否可靠准确。

4）仪表与互感器的接线、极性是否正确，计量是否准确。

5）母线连接是否良好，其支持绝缘子等是否安装牢固可靠。

6）继电保护整定值是否符合要求，自动装置动作是否正确可靠，表计及继电器动作是否正确无误。

7）辅助触头的使用是否符合电气原理图的要求。

8）带电部分的相间距离、对地距离是否符合要求。

9）“五防”装置是否齐全、可靠。

10）保护接地系统是否符合要求。

11）二次回路选用的熔断器的熔丝规格是否正确。

12）注油设备有无渗漏现象。

13）机械闭锁应准确，柜内照明装置应齐全、完好，以便于巡视检查设备运行状态。

（2）固定式开关柜运行巡视项目

1）每天定时巡视检查。

2）遇有恶劣天气或配电装置异常时，进行特殊巡视。

3）断路器跳闸后应立即检查柜内设备有无异常。

4）观察母线和金具颜色变化或观察示温蜡片有无受热融化，以判断母线和各种触头有无过热现象。

5）检查注油设备有无渗油，油位、油色是否正常。

6）仪表、信号、指示灯等指示是否正确。

7）接地装置的连接线有无松脱和断线。

8）继电器及直流设备运行是否正常。

9）开关室内有无异常气味和声响。

10）通风、照明及安全防火装置是否正常。

11）断路器操作次数或跳闸次数是否达到了应检修的次数。

12）防误装置、机械闭锁装置有无异常。

2. 手车式开关柜运行巡视和投运前检查

手车式开关柜投运前的检查内容如下：

（1）柜体部分的检查

1）柜上装置的元件、零部件均应完好无损。

2）接地开关操作灵活，合、分位置正确无误。

3）各连接部分应紧固，螺纹连接部分应无脱牙及松动。

4）柜体可靠接地，门的开启与关闭应灵活。

5）二次插头完好无损，插接可靠。

6）柜顶主、支母线装配完好，母线之间的连接紧密可靠，接触良好。

7）控制开关、按钮及信号继电器等型号规格与有关图样相符，接线无松动脱落现象。

（2）手车部分的检查

1）手车在柜外推动应灵活，无卡住现象。

2）手车处于工作位置时，主回路触头及二次插头能可靠接触。

3）手车在柜内能轻便地推入及推出，能可靠地定位于“工作位置”与“试验位置”。

4）机械联锁装置可靠灵活，无卡滞现象。

手车式开关柜运行中的巡视检查要求：

1）每天定期检查，听有无异常响声，看室内的温度、湿度变化情况。如果过高、过大要进行降温、降湿处理。

2）每隔1年要对柜内的绝缘隔板、活门、手车绝缘件、母线进行清洁处理，特种环境用户应根据具体情况而定。

3）下雨天或梅雨季节，要加强对开关室的观察，及时排清电缆沟内的积水，严防柜内受潮引起事故。

4）一般情况下，开关柜不会出现故障，如发现绝缘材料受潮，可用100°的无水酒精进行擦洗，并进行干燥处理。

二、维护与检修

开关柜投入运行后监视和维护工作，应确保开关柜的安全运行，主要从以下方面进行：

1）观察主母线和电气连接母线，如发现母线过热变色应进行检修。

2）观察照明、控制、信号电源是否正常供电。

3）记录断路器的动作次数，按断路器规定进行预防性试验与检修。

4）清扫各部位尘土，特别是绝缘表面的尘土，擦净油烟。

5）检修程序锁和机械锁，动作保持灵活可靠，程序正确。

6）按断路器、隔离开关、操动机构等电器的规定进行检修、调试。

7）检查电器接触部位，接触情况是否良好，检测接地回路，保持连续导通。

8）紧固各螺钉、销钉。

开关柜在正常运行时，应对运行情况如实记录，如发现绝缘件表面凝露或局部放电、柜内温度明显偏高及闻到强烈的异常气味等，应及时找出原因加以排除，或与制造厂商会同处理。

三、开关柜的常见故障及其排除方法（见表9-21）

表6-21　开关柜的常见故障及其排除方法

故障现象	检查处理
各种类型的环网柜	
负荷开关合不上	查开关是否在分闸状态 查闭锁选择器是否处在操作位置 顺时针方向转动操作把手
负荷开关分不掉	查开关是否在合闸状态 查闭锁选择器是否处在操作位置 逆时针方向转动操作把手
负荷开关不能运动到接地位置	查开关是否在分闸状态 查闭锁选择器是否处在检查（试验）位置 顺时针方向转动操作把手

（续）

故障现象	检查处理
各种类型的环网柜	
负荷开关不能从分闸位置运行到接地位置	查开关是否在接地状态 查闭锁选择器是否处在检查（试验）位置 顺时针方向转动操作把手
电缆室门不能打开或关上	查开关是否在接地状态 查闭锁选择器是否处在门打开位置
电动操动的负荷开关柜	
负荷开关不能分、合	查开关是否在接地状态 查闭锁选择器是否处在操作位置 查辅助电源是否接通
负荷开关-熔断器组合柜	
负荷开关合不上	若开关在分闸状态说明熔丝已烧断，或电动操动机构在合闸操作之前转动轴槽口已向下。查看熔丝是否烧断
未经操作熔丝已断	查熔丝安装是否正确，其断开指示栓应在朝上位置
线路开关柜	
电缆室门打不开	查开关是否在接地状态 查闭锁选择器是否在门打开位置 在门打开或合上之前取下线路开关的钥匙
开关始终达不到合闸位置	赋予合闸弹簧全载荷，闭锁线圈不通电 查线路开关钥匙是否处于正确的位置，将其转动到正确的工作位置 查线路开关辅助电源插头是否已插入专用的连接插座
仪用互感器	
互感器二次绕组不能测量	查所有二次绕组的短接端子是否已断开 查对二次回路接线

第七章　箱式变电站

第一节　ZGSBH16 型组合式变电站

一、概述

ZGSBH16 型箱式变电站采用非晶合金低损耗配电变压器。配电变压器采用全密封结构、绝缘油和绝缘介质不受大气污染，外壳按防腐要求特殊被覆处理。它广泛应用于户外配电系统，既可用于环网，又可用于终端。

二、技术参数

ZGSBH16 型箱式变电站配电变压器的技术参数见表 7-1。

表 7-1　ZGSBH16 型箱式变电站配电变压器的技术参数

容量/kV·A	电压组合			联结组标号	空载损耗/W	空载电流(%)	负载损耗/W	阻抗电压(%)
	高压/kV	高压分接范围(%)	低压/kV					
160	6 6.3 6.6 10 10.5 11	±2×2.5 $^{+3}_{-1}\times 2.5$	0.4	Dyn11 Yyn0	78	0.5	2200	4
200					90	0.5	2600	
250					110	0.5	3050	
315					130	0.4	3650	
400					160	0.4	4300	
500					190	0.4	5150	
630					230	0.3	6200	4.5
800					280	0.3	7500	
1000					330	0.3	10300	

配置熔断器的熔体额定电流见表 7-2。

表 7-2　配置熔断器的额定电流

变压器容量/kV·A	250	315	400	500	630	800	1000
熔断器熔体额定电流/A	25	30	40	50	63	40×2 并联	50×2 并联

配置负荷开关的性能参数见表 7-3。

表 7-3　配置负荷开关的性能参数

产　地	额定电压/kV	额定电流/A	绝缘试验电压/kV		短路试验电流/kA	
			工频耐压（有效值）	冲击耐压（峰值）	热稳定（2s）	动稳定（峰值）
国产	10	400	40	105	16（2s）	40
进口	25	300	40	125	12.5（10 周波）	—

三、电气主接线

ZGSBH16 系列箱式变电站的标准主接线方式，如图 7-1 所示，常用电气主接线方案见表 7-4。

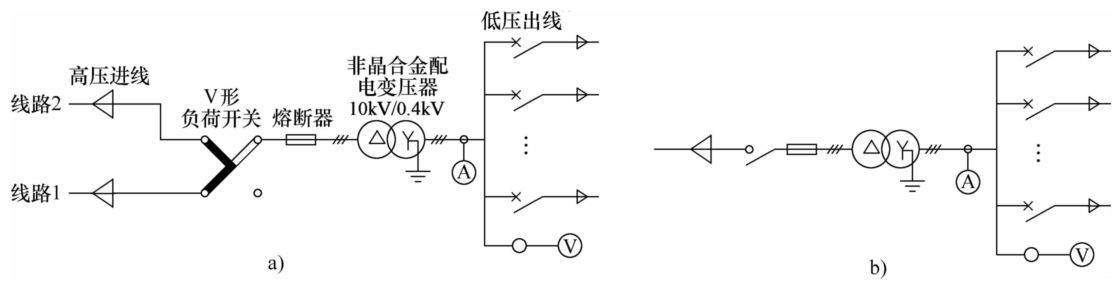


图 7-1　ZGSBH16 系列箱式变电站的标准主接线方式

a）环网型箱式变电站的主接线图　b）终端型箱式变电站的接线图

表 7-4　ZGSBH16 型箱式变电站的常用电气主接线方案

序号	10kV 一次方案				一次原理图
01	变压器容量	10kV、630kV · A 及以下			线路1 线路2 接变压器
		6kV、400kV · A 及以下			
	功能	两路供电或环网供电			
	高压配置	全范围保护：限流熔断器、四位置负荷开关、35 ~ 120mm^2 肘形电缆头			
	方案编号	011	V 形负荷开关		
		012	T 形负荷开关		
02	变压器容量	10kV、630 ~ 1000kV · A			线路1 线路2 接变压器
		6kV、500 ~ 800kV · A			
	功能	两路供电或环网供电			
	高压配置	全范围保护，限流熔断器，并联保护、四位置负荷开关、35 ~ 120mm^2 肘形电缆头			
	方案编号	021	V 形负荷开关		
		022	V 形负荷开关		
序号	0.4kV 接线方案				单线图
1	配置	总计量（有功电能表、无功电能表、三相电流表、电压表）四路出线断路器			kW·h kvar·h V A A A
	变压器容量	250 ~ 1000kV · A	出线断路器电流	160 ~ 630A	
2	配置	总计量（有功电能表、无功电能表、三相电流表、电压表）四路出线断路器，一路照明装有功计量			kW·h kvar·h V A A A kW·h
	变压器容量	250 ~ 1000kV · A	出线断路器电流	160 ~ 630A	

四、外形结构及安装尺寸

1. 外形结构

ZGSBH16 型组合式变电站外形结构如图 7-2 所示。

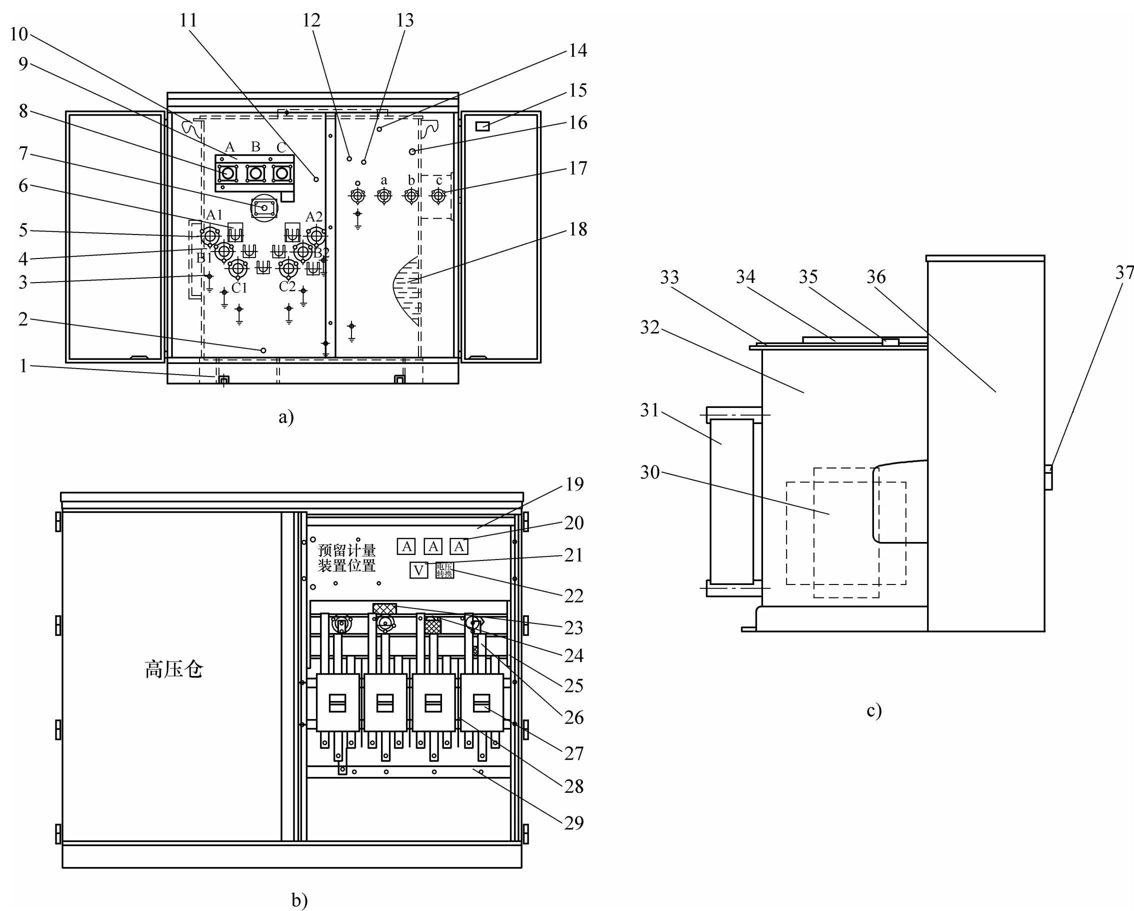


图 7-2　ZGSBH16 型组合式变电站外形结构

a）高压室　b）低压室　c）侧视图

1—固定板　2—放油阀　3—电缆接地螺栓　4—相位标志　5—高压套管座及套管插头　6—挂钩　7—负荷开关及止板　8—高压熔断器　9—档板　10—吊攀　11—分接开关　12—油位计　13—温度计　14—压力释放阀　15—铭牌　16—排气塞　17—低压套管　18—变压器油　19—仪表板　20—电流表　21—电压表　22—电压转换开关　23—电流互感器　24—总母排　25—排托　26—分支母线　27—低压断路器　28—隔板　29—O 排　30—器身　31—散热器　32—油箱　33—箱盖　34—防雨罩　35—注油管　36—箱壳　37—门锁

2. 安装尺寸

ZGS 型组合式变电站的安装基础如图 7-3 所示。

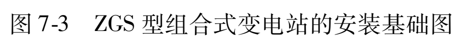


图 7-3　ZGS 型组合式变电站的安装基础图

a）平面图　b）Ⅰ—Ⅰ断面图

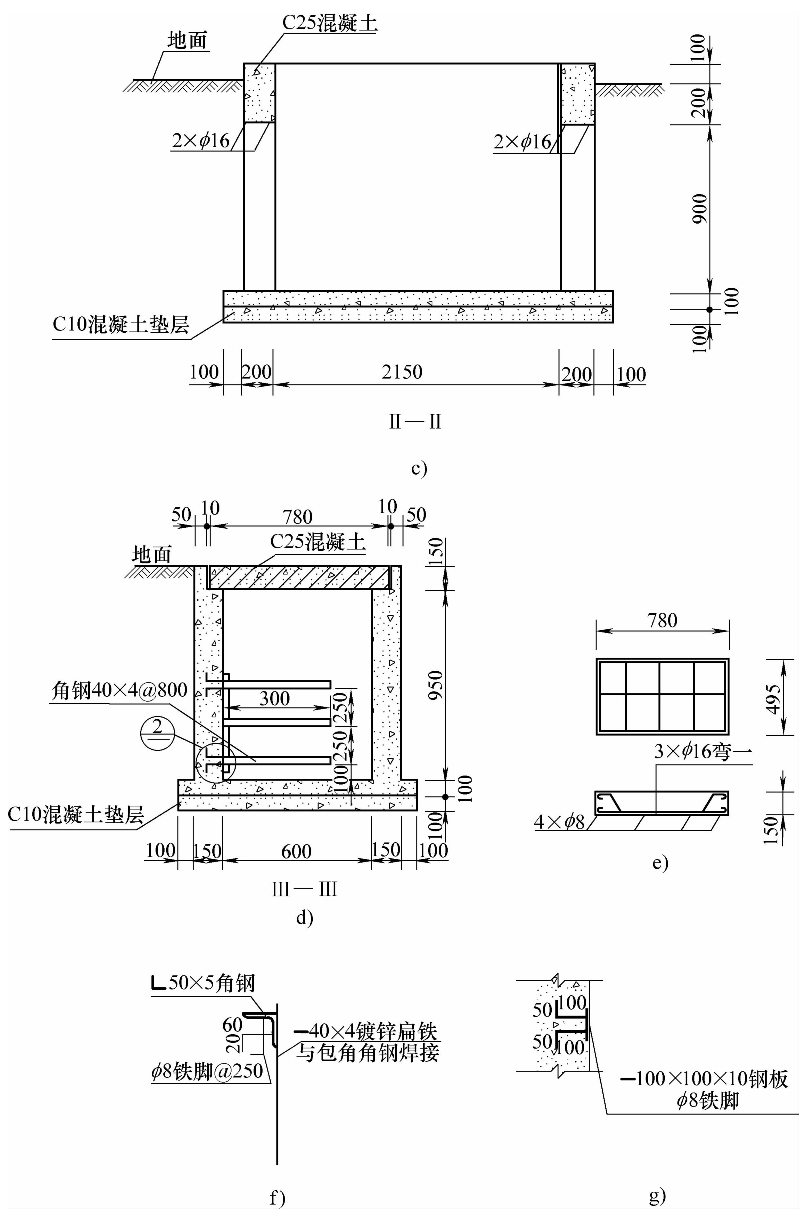


图 7-3　ZGS 型组合式变电站的安装基础图（续）

c）Ⅱ—Ⅱ断面图　d）Ⅲ—Ⅲ断面图　e）C25 混凝土盖板　f）①详图　g）②详图

10kV ZGS 型组合式变电站的安装如图 7-4 所示，外形结构尺寸见表 7-5。

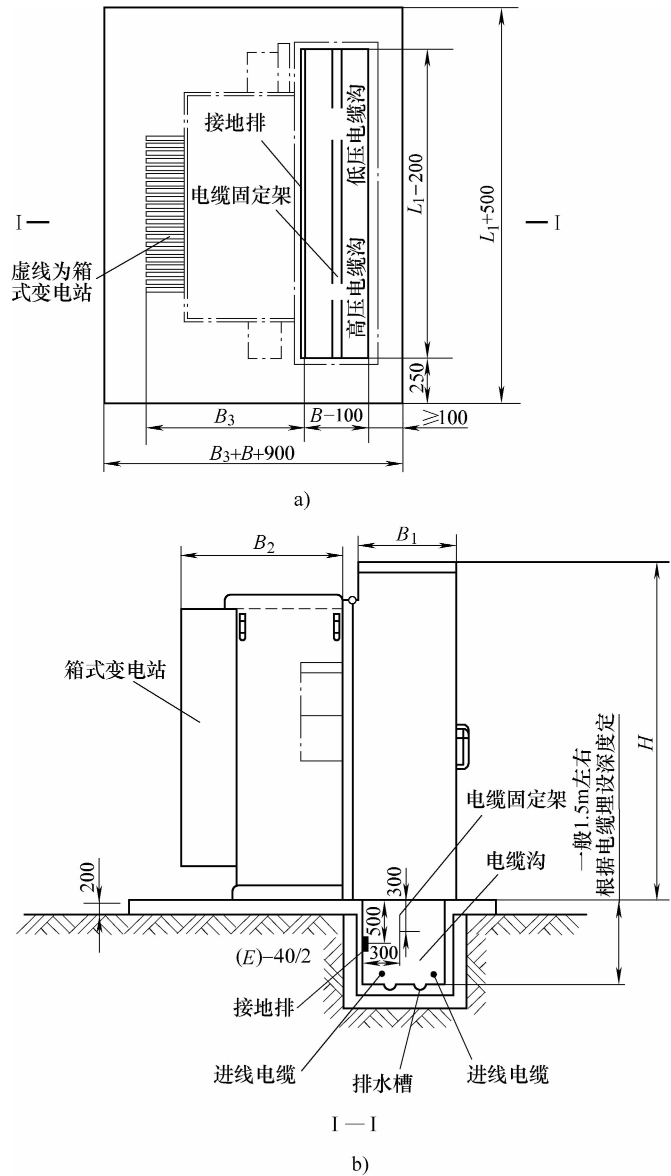


图 7-4　ZGS 型组合式变电站的安装

a）平面布置图　b）I — I 断面图

表 7-5　ZGS 型组合式箱式变电站的外形结构尺寸　　　　（单位：mm）

额定容量/kV · A	B	B_1	B_2	B_3	H	ZGS10-H 型	ZGS10-Z 型
						L_1	L_1
50	500	400	650	700	1600	1850	1300
63	500	400	650	700	1600	1850	1300
80	500	400	650	700	1600	1850	1500
100	500	400	650	700	1600	1850	1500
125	500	400	650	700	1600	1850	1500
160	500	400	850	900	1700	1850	1500

（续）

额定容量/kV·A	B	B_1	B_2	B_3	H	ZGS10-H 型	ZGS10-Z 型
						L_1	L_1
200	700	600	850	900	1700	1850	1500
250	700	600	850	900	1800	1850	1500
315	700	600	850	900	1800	1850	1500
400	700	600	870	920	1900	1950	1600
500	700	600	880	930	1900	1950	1600
630	700	600	900	950	1900	1950	1600
800	700	600	940	990	2000	2050	1700
1000	700	600	970	1020	2000	2050	1700
1250	800	700	990	1040	2000	2050	1700
1600	800	700	1020	1070	2200	2050	1700

第二节　YB 型预装式变电站

一、概述

YB 型预装式变电站是近年来被广泛应用的一种成套配电变电站。它是将 10kV 及以下 SF_6 环网开关柜、配电变压器、低压电器元件、电容补偿元件、自动控制单元等开关设备，按照一定的接线方案组合在一个箱体内，形成一个组合灵活、功能齐全的成套配电装置，用来实现从 10kV 系统向低压系统输送和分配电能。预装式变电站组件采用国内外优质电器元件，具有性能可靠、结构紧凑等特点，既适用于环网运行，又适用于终端运行，特别适用于城市公用配电、高新技术开发区、工矿企业、居民小区等用电场所，作配电系统中接受和分配电能用。

二、技术参数

YB 型预装式变电站的技术参数见表 7-6。

表 7-6　YB 型预装式变电站的技术参数

名　称		单位	参　数
高压单元	额定频率	Hz	50
高压单元	额定电压	kV	12
高压单元	额定工频耐受电压 对地和相间/隔离断口	kV	42/48
高压单元	额定雷电冲击耐压 对地和相间/隔离断口	kV	95/110
高压单元	额定电流	A	630
高压单元	额定短时耐受电流	kA	25(2s)
高压单元	额定峰值耐受电流	kA	63
低压单元	额定电压	V	400
低压单元	主回路额定电流	A	100～2000

名　称		单位	参　数
低压单元	额定短时耐受电流	kA	30(1s)
低压单元	额定峰值耐受电流	kA	63
低压单元	馈出回路电流	A	10～800
低压单元	馈出回路数	路	1～12
低压单元	补偿容量	kvar	0～360
变压器单元	额定容量	kV·A	50～1250
变压器单元	阻抗电压	%	40 或 4.5
变压器单元	分接范围		±2×2.5%或±5%
变压器单元	联结组标号		Yyn0 或 Dyn11
箱体	外壳防护等级		IP33
箱体	声级水平	dB	≤55

YB 型预装式变电站有关参数选择见表 7-7。

表 7-7　YB 预装式变电站有关参数选择

变压器容量/kV·A	变压器一次电流/A	高压电缆截面积推荐值/mm²	保护变压器用高压熔断器/A	变压器二次电流/A	低压主开关	无功补偿回路			
						补偿容量（15%～20%）S/kvar	推荐配置电容器/kvar	推荐配置电容器回路总电流/A	补偿回路总开关
50	2.89		10	72.17	S2N—160/R100	7.5～15	10×2	29	OS125
80	4.62		10	115.47	S3N～160/R160	12～24	10×3	44	OS125
100	5.77		16	144.33	S3N—250/R200	15～30	10×3	44	OS125
125	7.22		16	180.42	S3N—250/R250	18.8～37.5	10×4	58	OS125
160	9.24		25	230.94	S5N—400/R320	24～48	10×5	72.2	OS125
200	11.55	50	25	288.68	S5N—400/R400	30～60	10×6	87	OS125
250	14.43		25	360.84	S5N—630/R630	37.5～75	15×5	108	OS160
315	18.19		40	454.66	S5N—630/R630	48～94.5	15×6	130	OS250
400	23.1		40	577.35	S6N—800/R800	60～120	15×8	173	OS250
500	28.87		50	721.69	S7S—1250/R1000	75～150	15×10	217	OESA400
630	36.37		63	909.33	S7S—1250/R1250	94.5～189	15×12	260	OESA400
800	46.19		80	1154.7	F1S1600/R1600	120～240	15×16	347	OESA630
1000	57.74	70	100	1443.38	F1S2000/R2000	150～300	15×20	434	OESA630
1250	72.17		125	1804.22	F2S2500/R2500	188～375	15×24	520	OESA800

三、电气主接线

YB 型预装式变电站的电气主接线如图 7-5 所示。

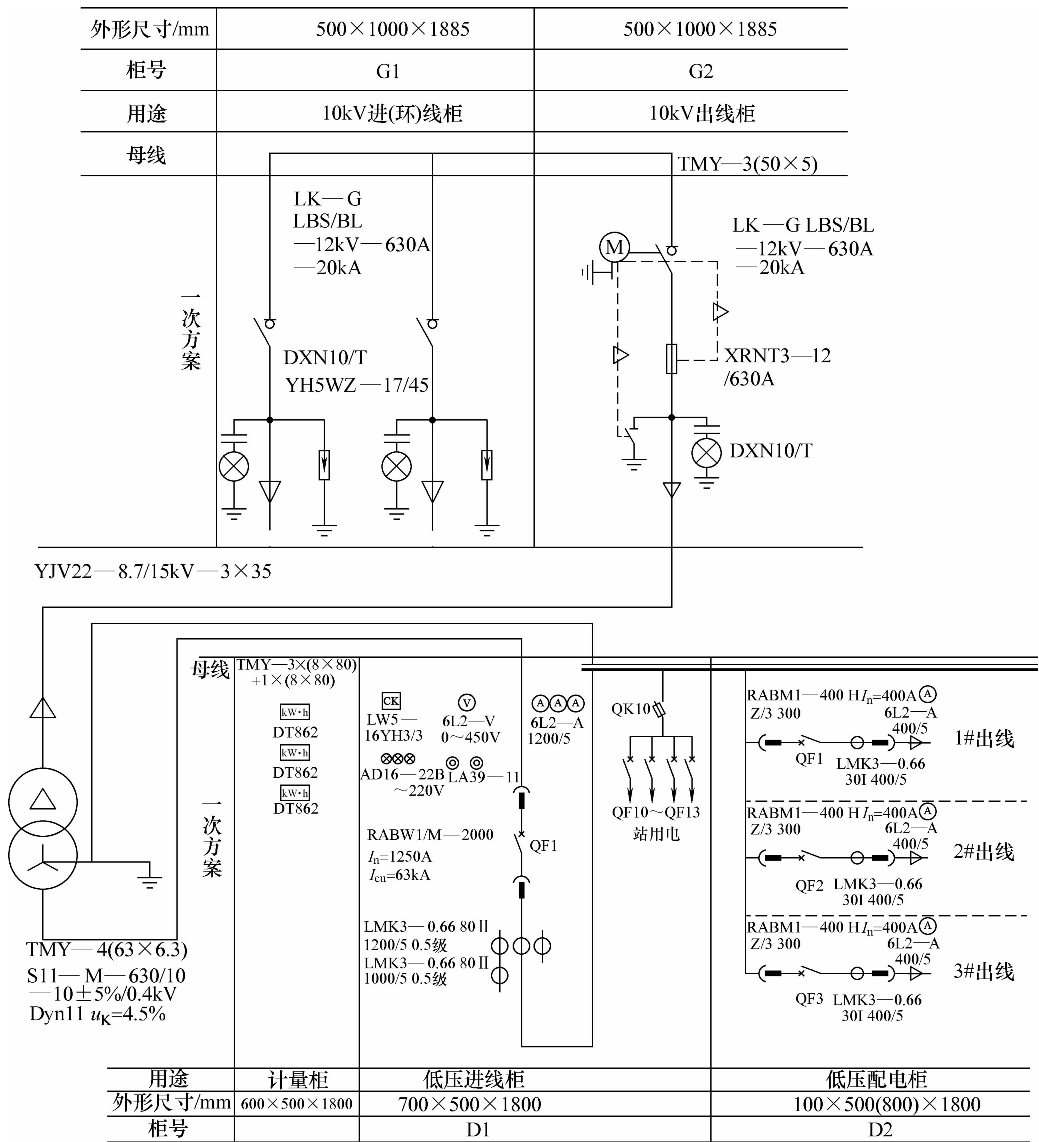


图 7-5　YB 型预装式变电站的电气主接线

四、外形结构及安装尺寸

Ingenious-BJ-630 型预装式变电站，安装 S11-630-10/0.4 型配电变压器 1 台。高压室（H）、变压器室（T）、低压室（L）按目字形水平排列。外形结构长 $L=2430$mm，宽 $W=1800$mm，高 $H=2130$mm。

Ingenious-BJ-630 型预装式变电站箱体安装基础如图 7-6 所示。

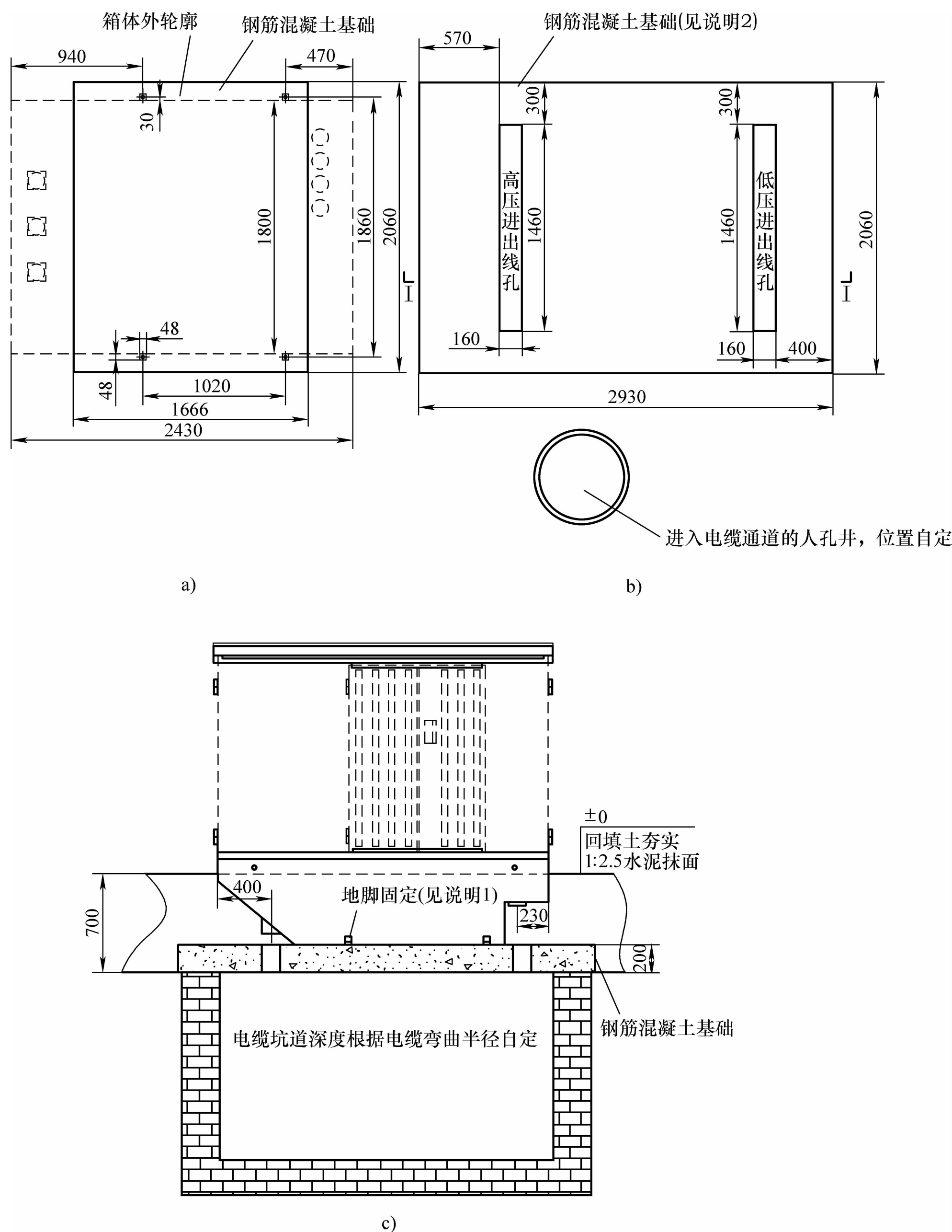


图 7-6　Ingenious-BJ-630 预装式变电站箱体安装基础

a）地脚安装尺寸　b）钢筋混凝土基础　c）Ⅰ—Ⅰ视图

图中，

①箱体与基础之间的地脚固定，由用户现场配用四个 M12 膨胀螺栓，或预埋扁铁与地脚焊接。

②当钢筋混凝土基础尺寸大于箱体外轮廓时，请参照开孔图尺寸开孔，预留高低压进出线电缆位置。

③钢筋混凝土基础下应设砖墙结构的电缆坑通道，深度根据电缆弯曲半径自定。

④在箱变轮廓外应另设进入电缆通道的人孔井。

第三节　箱式变电站的运行维护

一、投运前的检查

箱式变电站在安装完毕或维修后，在运行前应进行如下项目的检查和调试：

1）检查漆膜有无剥落，装置内是否清洁。

2）操动机构是否灵活，不应有卡住或操作时用力过大等现象。

3）主要电器的通断是否可靠准确。

4）电器的辅助触头的通断是否可靠准确。

5）仪表与互感器的变比及接线极性是否正确。

6）所有电器安装螺母是否旋紧。

7）母线连接是否良好，其支持绝缘子、夹件及附件是否安装牢固可靠。

8）电器的整定值是否符合要求，熔断器的熔体规格是否正确。

9）主电路及辅助电路的触头是否符合电气原理图的要求。

10）保护接地系统的电阻应小于0.1Ω，表计及继电器动作是否准确无误。

11）低压部分和二次回路用500V绝缘电阻表测量绝缘电阻，阻值不得小于2MΩ。

12）变压器的温控装置是否已调到规定的使用温度。

13）检查电容器外壳的接地是否良好，放电系统是否可靠。

二、投运操作步骤

1）箱式变电站投运前应对高低电压配电设备、变压器计量装置等进行必要的试验，试验合格后，方可投运。

2）将变压器网门及所有开关设备可以开启的门均关好，所有开关应处于分闸位置。

3）按操作程序合闸10kV电源，观察高压室指示仪表。若正常，变压器可投入运行。

4）闭合低压室开关，观察低压指示仪表。若正常，再分别合分路开关，箱式变电站投入正常运行。

三、箱式变电站的维护与检修

1）成套变电站是一种无人值班、监护的集受、变、馈电为一体的成套电器装置，因此应定期巡视、清扫、维护，以免发生事故。

2）箱体为金属结构，如巡视中发现锈蚀部分，应及时涂补。

3）维护中对可拆卸部分进行紧固，检查转动部分及门锁是否灵活，并加润滑油。注意箱内照明是否损坏，应保持照明良好。

4）注意检查箱体通风孔是否堵塞，自动排风扇是否工作正常，箱体内温升是否正常，发现问题应及时停运检修。

5）按DL/T 596—1996《电力设备预防性试验规程》进行定期试验。

6）若箱式变电站所选用的变压器为油浸式变压器，建议每年按规定对变压器油进行一次抽样分析检查。

7）运行中的高压负荷开关设备，经20次满负荷或2000次无负荷分、合闸操作后，应

检查触头情况、灭弧装置的损耗程度以及力学性能，发现异常应及时检修或更换。

8）低压开关设备自动跳闸后，应检查、分析跳闸的原因，待排除故障后，方可重新投运。

9）避雷器应在每年雨季前进行一次预防性的试验。

10）检修高压负荷开关和避雷器时，必须先切断箱式变电站的进线电源。变压器巡视时，请勿打开内网门。

第八章　母 线 装 置

第一节　母线的选择

一、母线材料的选择

在 10kV 及以下的配电装置中，一般选用矩形铝母线。铝母线的允许载流量较铜母线的小，但价格较便宜，安装、检修简单，连接方便。因此，在 10kV 及以下的配电装置中，首选矩形铝母线。

在室内配电装置中，持续工作电流较大时，可选用铜母线，但铜母线的价格较贵。

二、母线截面积的选择

1. 一般要求

母线应根据具体情况，按下列技术条件分别进行选择或校验：

1）工作电流。

2）经济电流密度。

3）动稳定或机械强度。

4）热稳定。

母线尚应按下列使用环境条件校验：

1）环境温度。

2）日照。

3）风速。

4）海拔。

2. 按回路持续工作电流选择母线截面积

$$I_{xu} \geqslant I_g \tag{8-1}$$

式中，I_g 为导体回路持续工作电流，单位为 A；I_{xu}为相应于导体在某一运行温度、环境条件及安装方式下长期允许的载流量，单位为 A。

裸铝排、裸铜排立放时的允许电流值见表 8-1、表 8-2，周围环境温度分别为 25℃、30℃、35℃、40℃，母线相间宽度为 60mm。当母线平放、相间宽度大于 60mm 时，表 8-1、表 8-2 中数据应乘以 0. 95；母线平放时，相间宽度小于 60mm 时，应乘以 0. 92。

表 8-1　单片母线立放的载流量

母线尺寸（宽×厚）/mm	铝/A				铜/A			
	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃
15×3	165	155	145	134	210	197	185	170
20×3	215	202	189	174	275	258	242	223

（续）

母线尺寸（宽×厚）/mm	铝/A				铜/A			
	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃
25×3	265	249	233	215	340	320	299	276
30×4	365	343	321	296	475	446	418	385
40×4	480	451	422	389	625	587	550	506
40×5	540	507	475	438	700	659	615	567
50×5	665	625	585	539	860	809	756	697
50×6	740	695	651	600	955	898	840	774
60×6	870	818	765	705	1125	1056	990	912
80×6	1150	1080	1010	932	1480	1390	1300	1200
100×6	1425	1340	1255	1155	1810	1700	1590	1470
60×8	1025	965	902	831	1320	1240	1160	1070
80×8	1320	1240	1160	1070	1690	1590	1490	1370
100×8	1625	1530	1430	1315	2080	1955	1830	1685
120×8	1900	1785	1670	1540	2400	2255	2110	1945
60×10	1155	1085	1016	936	1475	1388	1300	1195
80×10	1480	1390	1300	1200	1900	1786	1670	1540
100×10	1820	1710	1600	1475	2310	2170	2030	1870
120×10	2070	1945	1820	1680	2650	2490	2330	2150

注：母线允许温升为70℃，环境温度为25℃。

表 8-2　2 或 3 片组合涂漆母线立放时的载流量

母线尺寸（宽×厚）/mm	铝/A		铜/A	
	2 片	3 片	2 片	3 片
60×6	1350	1720	1740	2240
80×6	1630	2100	2110	2720
100×6	1935	2500	2470	3170
60×8	1680	2180	2160	2790
80×8	2040	2620	2620	3370
100×8	2390	3050	3060	3930
120×8	2650	3380	3400	4340
60×10	2010	2650	2560	3300
80×10	2410	3100	3100	3990
100×10	2860	3650	3610	4650
120×10	3200	4100	4100	5200

注：母线允许温升为70℃，环境温度为25℃。

当周围空气温度不是25℃时，表 8-1 中的允许电流值应乘以表 8-3 中的温度校正系数 K。

表 8-3　温度校正系数 K 值

环境温度/℃	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
校正系数 K	1.29	1.24	1.20	1.15	1.11	1.05	1.00	0.94	0.88	0.81	0.74	0.67

3. 按经济电流密度选择母线截面积

在 10kV 及以下的配电装置中，在负荷电流较大、母线较长时，综合考虑减少母线的电能损耗、减少投资和节约有色金属的情况下，应以经济电流密度选择母线截面积。

按经济电流密度选择母线截面积时，可按式（8-2）计算，即

$$S_j = \frac{I_P}{j} \tag{8-2}$$

式中，S_j 为母线经济截面积，单位为 mm^2；I_P 为回路持续工作电流，单位为 A；j 为经济电流密度，单位为 A/mm^2。

经济电流密度可按表 8-4 中所列数值选取。

表 8-4　经济电流密度

导 体 种 类	最大负荷年利用小时数/h		
	3000 以下	3000～5000	5000 以上
裸铝导线和母线电流密度/(A/mm^2)	1.65	1.15	0.90

【例 8-1】　某工厂一台 SBH11-1000/10 型配电变压器，额定电压 $U_{N1}/U_{N2}=10/0.4kV$，额定容量 $S_N=1000kV\cdot A$，试选择该配电变压器高、低压侧母线的型号规格。

解： 1. 配电变压器 10kV 侧母线型号规格的选择

配电变压器 10kV 侧额定电流为

$$I_{N1}=\frac{S_N}{\sqrt{3}U_{N1}}=\frac{1000}{\sqrt{3}\times 10}A=57.8A$$

选用矩形铝母线，考虑机械强度因素，查表 8-1 得 80mm×6mm 铝母线在环境温度 40℃时，允许电流 $I_{xu}=932A$，该值大于该配电变压器 10kV 侧长期工作电流 $I_g=57.8A$，故满足要求。

2. 配电变压器 0.4kV 侧母线型号规格的选择

配电变压器 0.4kV 侧额定电流为

$$I_{N2}=\frac{S_N}{\sqrt{3}U_{N2}}=\frac{1000}{\sqrt{3}\times 0.4}A=1445A$$

选用矩形铜母线，查表 8-1 得 100mm×10mm 铜母线在环境温度为 40℃时，长期允许负荷电流 $I_{xu}=1870A$，该值大于配电变压器低压侧额定电流 $I_{N2}=1445A$。

当配电变压器过负荷为 30%时，配电变压器低压侧负荷电流为

$$I_2=1.3I_{N2}=1.3\times 1445A=1878.5A$$

该电流近于母线长期允许载流量 $I_{xu}=1870A$，故选择的母线截面积满足要求。

根据上述计算方法，考虑到变压器最大过负荷为 30%，常用的 10kV 配电变压器高、低压侧母线型号规格见表 8-5。

表 8-5　常用的 10kV 配电变压器母线型号规格

配电变压器				10kV 侧母线				0.4kV 侧母线			
额定容量 S_N/kV·A	额定电流			LMY 型铝母线		TMY 型铜母线		LMY 型铝母线		TMY 型铜母线	
	I_{N1}/A	I_{N2}/A	$1.3I_{N2}$/A	截面尺寸 $A \times B$/mm	允许电流 I_{xu}/A	截面尺寸 $A \times B$/mm	允许电流 I_{xu}/A	截面尺寸 $A \times B$/mm	允许电流 I_{xu}/A	截面尺寸 $A \times B$/mm	允许电流 I_{xu}/A
125	7.2	180	234	80×6	932	60×6	912	60×6	705	50×5	697
160	9.2	231	300	80×6	932	60×6	912	60×6	705	50×5	697
200	11.6	289	375	80×6	932	60×6	912	60×6	705	50×5	697
250	14.5	361	469	80×6	932	60×6	912	60×6	705	50×5	697
315	18.2	455	592	80×6	932	60×6	912	60×6	705	50×5	697
400	23.1	578	751	80×6	932	60×6	912	80×6	932	50×5	697
500	28.9	722	938	80×6	932	60×6	912	80×8	1070	60×8	1070
630	36.4	910	1183	80×6	932	60×6	912	100×8	1315	80×6	1200
800	46.2	1156	1502	80×6	932	60×6	912	120×8	1540	100×8	1685
1000	57.8	1445	1878	80×6	932	60×6	912	2×100×10	2317	100×10	1870
1250	72.3	1806	2347	80×6	932	60×6	912	2×100×10	2317	120×10	2150
1600	92.5	2312	3005	80×6	932	60×6	912			2×100×10	2924
2000	115.6	2890	3757	80×6	932	60×6	912			3×100×10	3766
2500	144.5	3613	4696	80×6	932	60×6	912			3×120×10	4212

4. 低压配电柜母线的选择

为了提高低压配电柜母线动热稳定性和改善接触面的温升，装置全部采用 TMY-T2 系列硬铜，铜母线的连接部分必须搪锡，推荐采用全长搪锡。也可选用全长镀银铜母线。

水平母线置于柜后部母线隔室内，3150A 及以上为上下双层布置，2500A 及以下为单层布置，每相由 4 条或 2 条母线组成，大大提高了母线的短路强度。

在 0.4kV 配电柜中，水平安装时，选用铜母线的规格见表 8-6。

表 8-6　水平安装铜母线的规格

额定电流/A	规格/条数(mm)	额定电流/A	规格/条数(mm)
630　1250	2(50×5)	2500	2(80×10)
1600	2(60×6)	3150	2×2(60×6)
2000	2(60×10)	4000	2×2(60×10)

抽屉柜的垂直母线采用“L”形硬铜搪锡母线，L 形母线规格为$(50\times5+30\times5)mm^2$，额定电流为 1000A。

中性线接地母线采用硬铜母线，贯通水平中性接地线（PEN）或接地 + 中性线（PE + N）的规格见表 8-7。

表 8-7　中性线接地母线的规格

相导线截面积/mm^2	选用 PE(N)母线尺寸/mm
500~720	40×5
1200	60×6
>1200	60×10

注：装置内垂直 PEN 线或 PE + N 线的规格全部选用 40mm×5mm。

第二节　矩形母线的安装

一、室内配电装置的安全净距

安装母线时，室内配电装置如图 8-1、图 8-2 所示的安全净距应符合表 8-8 的规定。

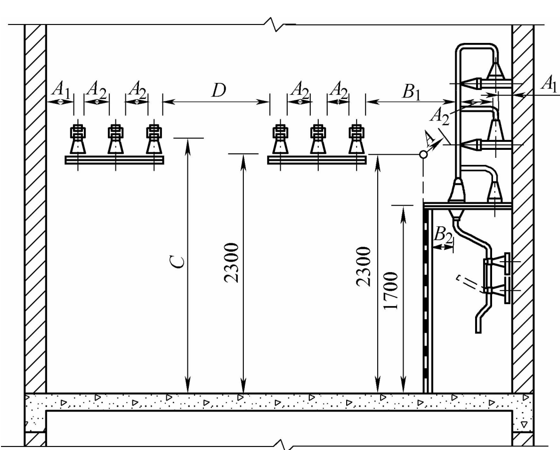


图 8-1　室内 A_1、A_2、B_1、B_2、C、D 值校验

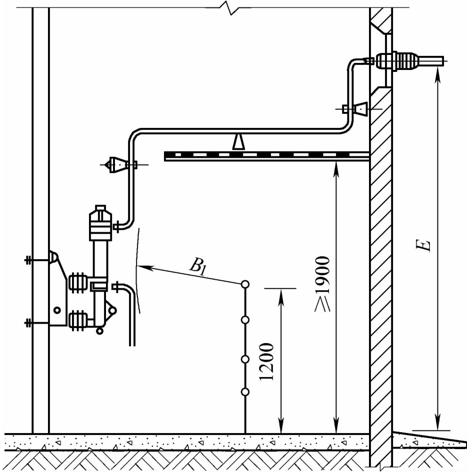


图 8-2　室内 B_1、E 值校验

表 8-8　室内配电装置的安全净距　　（单位：mm）

符号	适用范围	额定电压/kV			
		0.4	1～3	6	10
A_1	（1）带电部分至接地部分之间 （2）网状和板状遮栏向上延伸线距地 2.3m 处与遮栏上方带电部分之间	20	75	100	125
A_2	（1）不同相的带电部分之间 （2）断路器和隔离开关的断口两侧带电部分之间	20	75	100	125
B_1	（1）栅状遮栏至带电部分之间 （2）交叉的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间	800	825	850	875
B_2	网状遮栏至带电部分之间	100	175	200	225
C	无遮栏裸导体至地(楼)面之间	2300	2375	2400	2425
D	平行的不同时停电检修的无遮栏裸导体之间	1875	1875	1900	1925
E	通向室外的出线套管至室外通道的路面之间	3650	4000	4000	4000

二、母线颜色及相序排列

母线涂漆的目的是为了识别相序，防止母线的腐蚀，表示带电体，防止触电。相序的颜色应按以下的规定涂漆：

1）三相交流电：U 相为黄色，V 相为绿色，W 相为红色，中性线、零线为淡蓝色，接地线为黄和绿双色。单条母线的所有面及多条母线的所有可见面均应涂相色漆，钢母线的所有表面应涂防腐相色漆。涂漆应均匀，无起层、皱皮等缺陷，并应整齐一致。

2）单相交流电：单相交流电相线与引出相同色。如 U 相引出时涂黄色，零线引出时涂淡蓝色。

3）直流母线正极为褐色，负极为蓝色。凡是母线接头处或母线与其他电器有电气连接处，都不应涂漆，以免增大接触电阻，引起连接处过热。母线的螺栓连接及支持连接处、母线与电器的连接处以及距所有连接处 10mm 以内的地方不应涂相色漆。供携带式接地线连接用的接触面上，不涂漆部分的长度应为母线的宽度或直径，且不应小于 50mm，并在其两侧涂以宽度为 10mm 的黑色标志带。

4）母线安装的相互位置。从柜正面看，上、中、下垂直布置的三相交流母线，由上至下排列为 U、V、W 相；从柜正面看，远、中、近水平布置的三相交流母线，由远到近排列为 U、V、W 相。

三相交流电母线颜色及相序排列见表 8-9。

表 8-9　三相交流电母线颜色及相序排列

相　　别	颜　　色	母线安装相互位置(从柜正面看)		
		垂直排列	水平排列	引下线
U	黄色	上	远	左
V	绿色	中	中	中
W	红色	下	近	右
中性线、零线	淡蓝色	最下	最近	最右
接地线	黄和绿双色			

三、母线的加工

在安装硬母线前，首先应对硬母线进行金属加工，将母线矫正平直和切断面平整是母线加工工艺的基本要求，也是保证安装后的母线达到横平竖直、整齐美观的必要条件。

1. 在现场制作时应使用母线平整机或手工锉处理接触面

母线平整机实际上是一个千斤顶和两块用磨床磨光的 50mm 厚的钢块，使用时将接触面夹于钢块之间，用千斤顶顶死，逐渐操作千斤顶，进而使接触面压平。压好后应用钢直尺检验，合格后再用金属刷清除表面的氧化膜。用平整机处理母线接触面如图 8-3 所示。

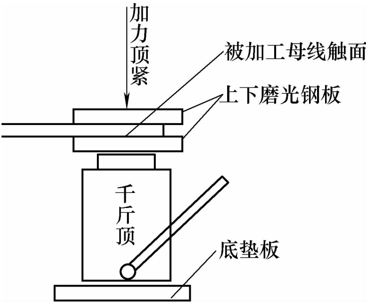


图 8-3　用平整机处理母线接触面

用手工锉处理接触面，要求操作者有较高的钳工操作水平，并随时用钢直尺检验，合格后即停止锉动。有条件的情况下，处理接触面应用铣床或刨床，效率高、效果好。用手工锉和机床处理接触面，母线截面积都有所减小，电气工程中规定，铜材不得减少原截面积的 3%，铝材不得减少原截面积的 5%。

无论采用哪种方法，接触面处理之后，对于铝母线应随即涂上一层中性凡士林，因为铝极易氧化，如加工后不立即安装，接触面处应用牛皮纸包好；对于铜母线则应搪锡处理。

随成套开关柜配套供应的母线已由厂家将接触面加工好，如无设计变更，直接安装即可，不必再加工。

2. 母线的搭接

矩形母线的搭接连接，应符合表 8-10 的规定。在安装母线接头时，螺栓规格、数量和钻孔尺寸不得任意改动，以免造成接头连接不良而使接头温升过高。母线接头螺孔的直径宜大于螺栓直径 1mm；钻孔应垂直、不歪斜，螺孔间中心距离的误差应为 ±0. 5mm。

表 8-10　矩形母线的搭接要求

搭接形式	类别	序号	连接尺寸/mm			钻孔要求		螺栓规格
			b_1	b_2	a	ϕ/mm	个数	
$b_1/4$, b_1, b_2, $b_1/4$, a, ϕ	直线连接	1	125	125	b_1 或 b_2	21	4	M20
		2	100	100	b_1 或 b_2	17	4	M16
		3	80	80	b_1 或 b_2	13	4	M12
		4	63	63	b_1 或 b_2	11	4	M10
		5	50	50	b_1 或 b_2	9	4	M8
		6	45	45	b_1 或 b_2	9	4	M8
$b_1/2$, b_1, b_2, $b_1/2$, $a/2$, $a/2$, a, ϕ	直线连接	7	40	40	80	13	2	M12
		8	31. 5	31. 5	63	11	2	M10
		9	25	25	50	9	2	M8

（续）

搭接形式	类别	序号	连接尺寸/mm			钻孔要求		螺栓规格
			b_1	b_2	a	φ/mm	个数	
	垂直连接	10	125	125		21	4	M20
		11	125	100 ~ 80		17	4	M16
		12	125	63		13	4	M12
		13	100	100 ~ 80		17	4	M16
		14	80	80 ~ 63		13	4	M12
		15	63	63 ~ 50		11	4	M10
		16	50	50		9	4	M8
		17	45	45		9	4	M8
	垂直连接	18	125	50 ~ 40		17	2	M16
		19	100	63 ~ 40		17	2	M16
		20	80	63 ~ 40		15	2	M14
		21	63	50 ~ 40		13	2	M12
		22	50	45 ~ 40		11	2	M10
		23	63	31.5 ~ 25		11	2	M10
		24	50	31.5 ~ 25		9	2	M8
	垂直连接	25	125	31.5 ~ 25	60	11	2	M10
		26	100	31.5 ~ 25	50	9	2	M8
		27	80	31.5 ~ 25	50	9	2	M8
	垂直连接	28	40	40 ~ 31.5		13	1	M12
		29	40	25		11	1	M10
		30	31.5	31.5 ~ 25		11	1	M10
		31	25	22		9	1	M8

矩形母线采用螺栓固定搭接时，连接处距支持绝缘子的支持夹板边缘不应小于 50mm；上片母线端头与下片母线平弯开始处的距离不应小于 50mm，如图 8-4 所示。

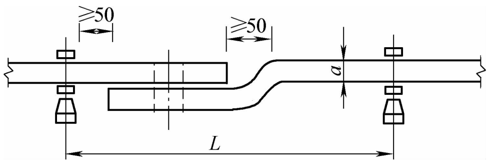


图 8-4　矩形母线的搭接

L—母线两支持点之间的距离

引下线及螺栓连接接头应将紧固力矩及接头压强应达到要求的数据。相同布置的主母线、分支母线、设备连接线应对称一致，横平竖直，整齐美观。

3. 母线弯形

对矩形母线，应进行冷弯，不得进行热弯。母线开始弯曲处距最近绝缘子的母线支持夹板边缘不应大于 0.25L，但不得小于 50mm；母线开始弯曲处距母线连接位置不应小于 50mm。矩形母线应减少直角弯曲，弯曲处不得有裂纹及显著的折皱，多条母线的弯曲应一致。硬母线的立弯与平弯如图 8-5 所示。

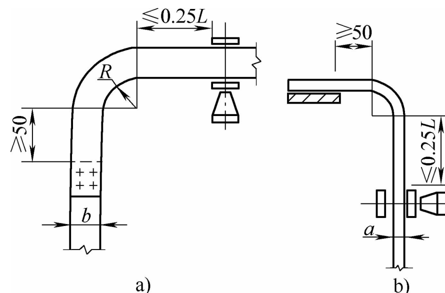


图 8-5　硬母线的立弯与平弯
a）立弯　b）平弯
a—母线厚度　b—母线宽度
L—母线两支持点间的距离

母线最小弯曲半径见表 8-11。表中 a 为母线厚度，b 为母线宽度。

母线扭转 90°时，其扭转部分的长度应为母线宽度的 2.5 ~5 倍，如图 8-6 所示。

4. 母线搭接时的注意事项

1）母线连接用的机制紧固螺栓及辅件应符合国家标准，螺栓、螺母、锁紧螺母、弹簧垫圈、平垫圈必须全部镀锌，螺栓和螺母的螺纹配合应一致且紧密无松动现象。不得使用手工加工的螺栓。

表 8-11　母线最小弯曲半径（R）值

母线种类	弯曲方式	母线截面尺寸/mm	最小弯曲半径/mm		
			铜	铝	钢
矩形母线	平弯	50 ×5 及以下	2a	2a	2a
		125 ×10 及以下	2a	2.5a	2a
	立弯	50 ×5 及以下	1b	1.5b	0.5b
		125 ×10 及以下	1.5b	2b	1b
棒形母线		直径为 16 及以下	50	70	50
		直径为 30 及以下	150	150	150

2）加工好的接触面应保持洁净，严禁机械碰撞，安装时将包接触面的牛皮纸取下，用干净的棉丝将中性凡士林油擦净，与规定的母线搭接好后立即紧固螺栓。

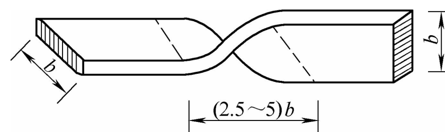


图 8-6　母线扭转 90°
b—母线的宽度

3）母线平置时，螺栓应由下向上穿过螺孔；立放时应由内向外穿过螺孔；其他情况下，螺栓的穿入应便于维护，螺栓的长度宜为紧固后露出螺母 2 ~3 扣，不宜太长。

4）螺栓的两侧均应有平垫圈，螺母侧还应有弹簧垫圈或使用锁紧螺母；相邻螺栓的垫圈间应有 3mm 以上的净距，因此开孔时要综合考虑。

5）螺栓受力应均匀适中，不应使电器端子受到额外的应力；对接触面上多只螺栓应轮流紧固或对角线紧固，即每只螺栓紧固一圈则换位紧固另一只螺栓，进而使每只螺栓逐渐紧固；对螺母不得拧得太紧，紧度应适中，通常应使用力矩扳手紧固。紧固好后应用 0.05mm ×10mm 的塞尺检查：

母线宽度在 63mm 及以上者不得塞入 6mm；宽度在 56mm 及以下者不得塞入 4mm。

6）铜母线和铜母线在干燥场所可直接搭接，但一般情况下都应搪锡，在其他场所必须搪锡；铝母线和铝母线一般直接搭接，也可搪锡；钢母线和钢母线搭接必须搪锡或镀锌，不得直接连接；铜与铝母线，在干燥的室内，铜母线应搪锡，在室外或空气相对湿度接近 100% 的室内，应采用铜铝过渡板，铜端应搪锡；钢与铜或铝，钢搭接面必须搪锡；封闭母线螺栓固定搭接面应镀银。

四、矩形母线的安装

母线经过上面讲述的一系列加工制作后，要装设在支持绝缘子或母线夹上，这就是母线的安装。母线安装的部位一是要安装在柜体的顶部，再就是要安装在角钢支架或墙上，以至用绝缘子吊装在屋顶或支架上。目的是将母线从室外或变压器上引入柜内或设备上。

当低压母线穿过墙壁时，可参照图 8-7 进行加工安装。

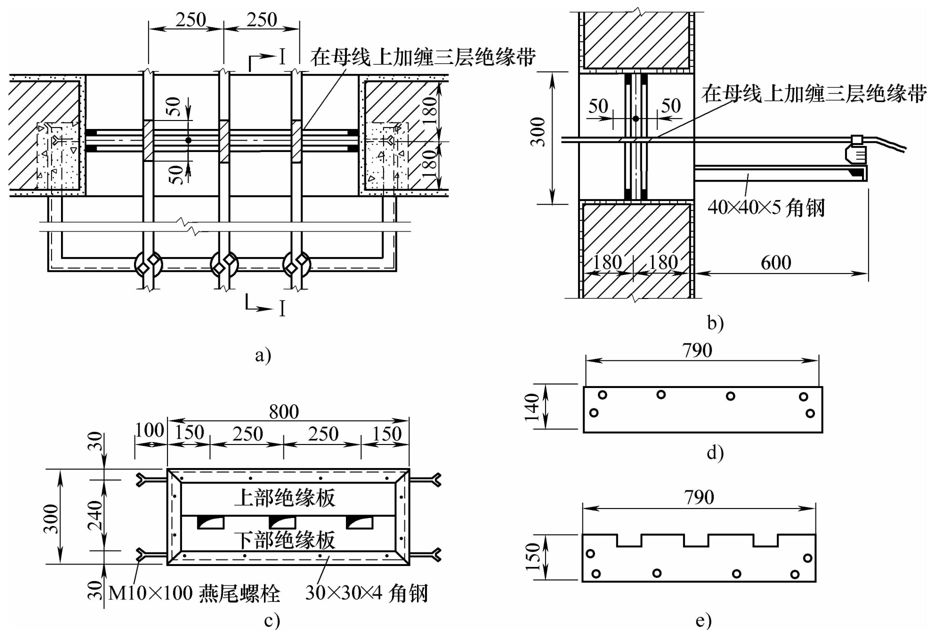


图 8-7 低压母线穿墙安装图

a）平面图 b） Ⅰ—Ⅰ剖面图 c）低压母线穿墙隔板立面图 d）上部绝缘板 e）下部绝缘板

低压母线穿墙后的正面安装如图 8-8a 所示，其侧面安装如图 8-8b 所示。

把柜顶的盖拆掉，将制作加工好的母线抬到柜上，按原来测量的位置放在支持绝缘子或母线绝缘夹板上。先把每一段母线用塑料带捆扎在支持绝缘上加以固定，捆扎点不得少于两点，然后用红、蓝铅笔画出母线和绝缘子用螺栓固定的螺孔位置并画出母线和每一个回路连接的螺孔位置。螺孔的位置应和母线的中心轴线对称，和回路连接的螺孔必须三相同时画出，以取得一致性，螺孔的位置和孔径应符合表 8-10 的要求。画好后将母线抬下用钻床或台钻按前述的方法钻孔。

同样应将母线抬到角钢支架上，将钻孔的位置画出。

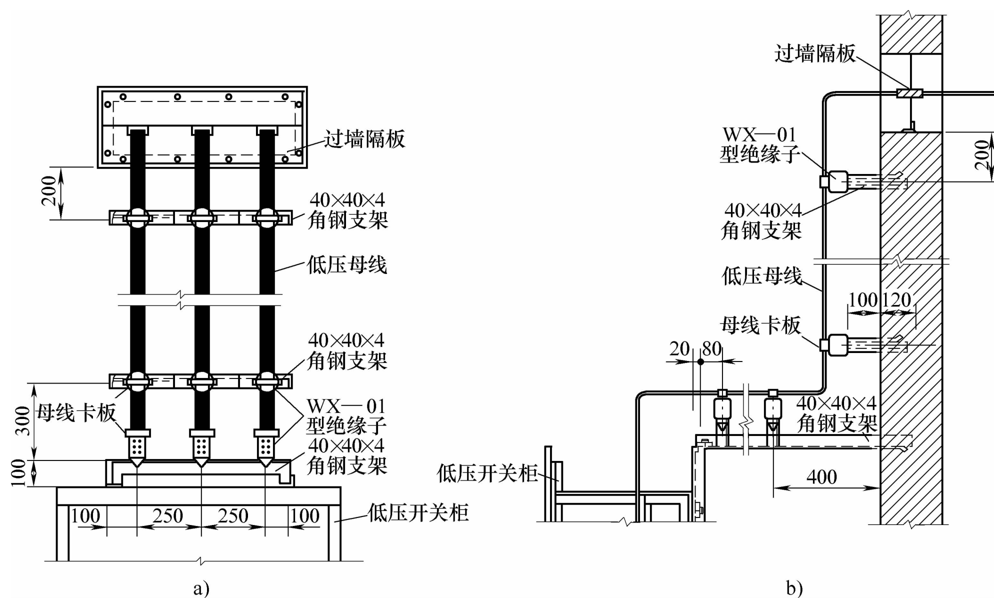


图 8-8　低压母线穿墙后的安装
a）正视图　b）侧面剖视图

与支持绝缘子固定应开长孔，以便当母线温度变化时，使母线有伸缩的余地，不致拉坏绝缘子。长孔的孔径由柜上的支持绝缘子决定，一般是（ϕ10～ϕ12mm）×20mm。因此，有些柜子采用了夹板或卡板和绝缘子固定，有的则采用了母线绝缘支持夹板固定母线，这样则不必开孔，但与回路的连接仍应开孔。目前市场上开关柜的类型和新产品不断推出，则应按柜体本身来决定，有的产品和回路的连接采用了插接，省掉了开孔，如图 8-9 所示。

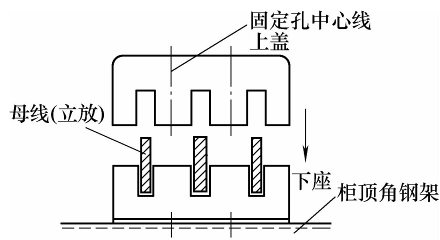


图 8-9　夹板示意图

五、低压成套开关柜母线的安装

在低压成套开关柜中，当水平母线系统额定电流小于 1600A 及以下采用单排母线时，可按图 8-10 所示安装，架空进线时，独立的 N 母线可装在柜顶。当水平母线系统额定电流大于 1600A、采用双排母线时的排列可按图 8-11 所示安装，柜宽尺寸大于 400mm 时，中间应加装母线支撑架。一组 U、V、W 母线和两组 DC 母线（即操作电源和能耗制动电源）并列时的排列，可按图 8-12 所示安装，分断能力为 50kA、柜宽大于 400mm 时中间必须加装母线支撑架。当单或双排母线水平排列、采用后进母线桥时，可按图 8-13 所示进行安装。当单排母线垂直排列、采用后进线母线桥时，可按图 8-14 所示进行安装。当双排母线垂直排列、采用后进线母线桥时，可按图 8-15 所示进行安装。

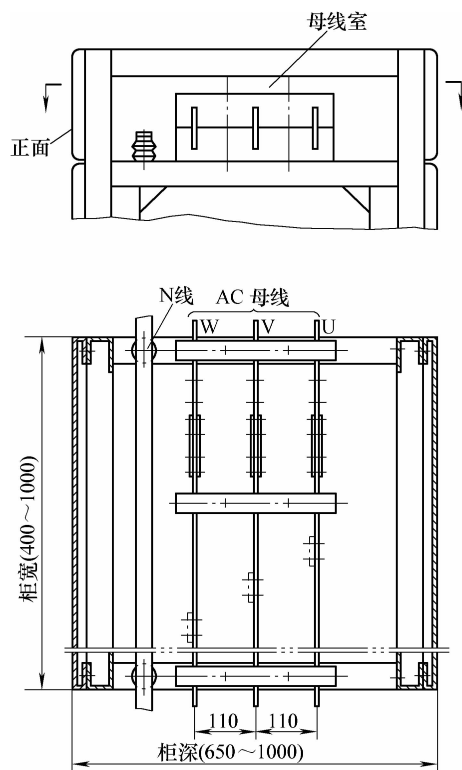


图 8-10　对水平母线系统额定电流小于1600A 及以下，采用单排母线时的安装

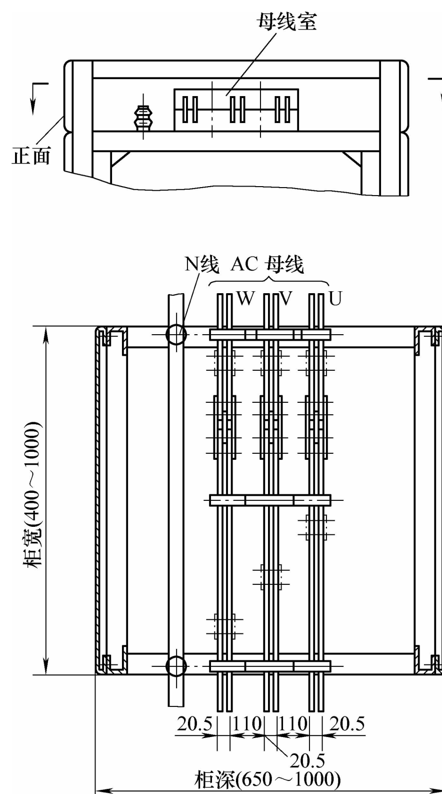


图 8-11　对水平母线系统额定电流大于1600A 采用双排母线时的排列安装

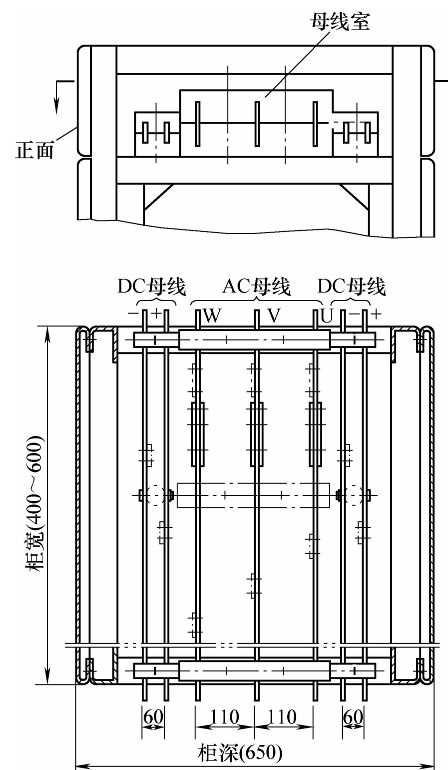


图 8-12　一组 U、V、W 母线和两组 DC 母线（操作电源和能耗制动电源）并列时的排列安装

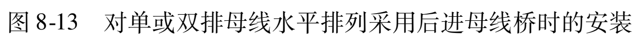


图 8-13　对单或双排母线水平排列采用后进母线桥时的安装



图 8-14　对单排母线垂直排列采用后进线母线桥时的安装

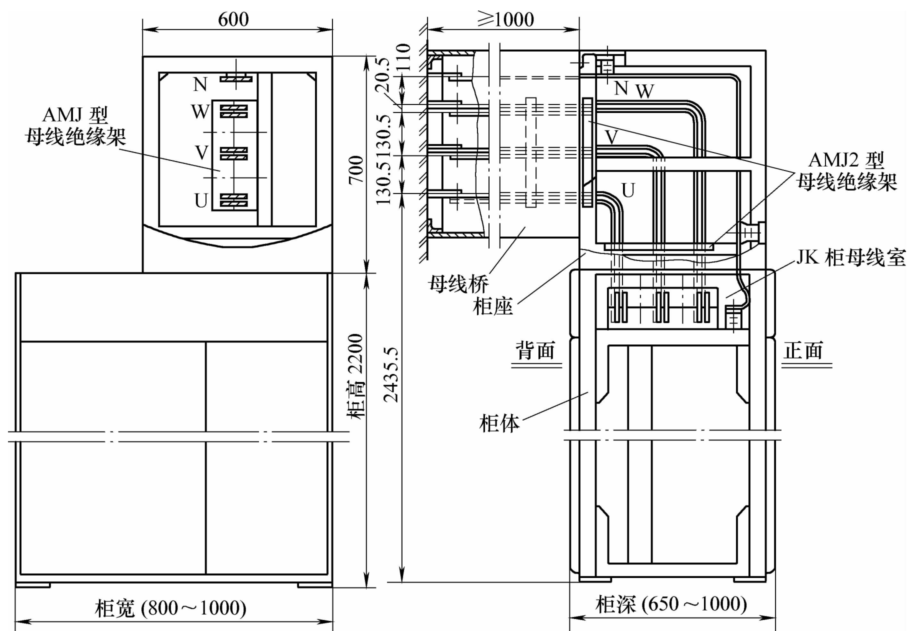


图 8-15　对双排母线垂直排列采用后进线母线桥时的安装

六、母线槽的安装

1. 插接母线的安装

插接母线常用于高层建筑，作为每层不同类别负荷的电源，一般都安装在电气竖井内，并沿井壁安装，用预埋的螺栓或膨胀螺栓固定。因此，螺栓的位置必须准确且螺栓的连线应垂直于地平线。每层均设置插接箱，作为本层的电源，然后再用管路分配到各个分配电箱中。在底层或地下层设置进线箱，可用导线或电缆接入。插接母线的容量可达 400～600A。

插接母线的安装应符合以下要求：

1）悬挂式母线槽的吊钩应有调整螺栓，固定点间距离不得大于 3m。

2）母线槽的端头应装封闭罩，引出线孔的盖子应完整。

3）各段母线槽的外壳的连接应是可拆的，外壳之间应有跨接线，并应可靠接地。

2. 封闭式母线的安装

封闭式母线常用于干式变压器的多层室内配电室，作为一次/二次母线用，有很高的安全性，并能节约很大的空间。一般用吊杆或卡具固定，穿越楼板或垂直安装时常用卡具，水平安装时常用吊杆。卡具及吊杆可预埋铁件后进行焊接，但必须保证焊接后的直线性。

封闭式母线的安装应符合以下要求：

1）支座必须安装牢固，母线应按分段图、相序、编号、方向和标志正确放置，每相外壳的纵向间隙应分配均匀。

2）母线与外壳间应同心，其误差不得超过 5mm，段与段连接时，两相邻段母线及外壳应对准，连接后不应使母线及外壳受到机械应力。

3）封闭母线不得用裸钢丝绳起吊和绑扎，母线不得任意堆放或在地面上拖拉，外壳上不得进行其他作业，外壳内和绝缘子必须擦拭干净，外壳内不得有遗留物。

4）橡胶伸缩套的连接头、穿墙处的连接法兰、外壳与底座之间、外壳各连接部位的螺栓应采用力矩扳手紧固，各接合面应密封良好。

5）外壳的相间短路板应位置正确，连接良好，相间支撑板应安装牢固，分段绝缘的外壳应作好绝缘措施。

6）母线焊接应在封闭母线各段全部就位并调整误差合格，且绝缘子、盘形绝缘子和电流互感器均经试验合格后进行。

7）呈微正压的封闭母线，在安装完毕后检查其密封性应良好。

3. 安装工艺的要求

母线槽外壳采用冷轧钢板成形，表面经喷涂处理、外表美观、机械强度高，并且分段所接保护导体纯铜排应安全可靠。

垂直安装的母线槽预留孔尺寸见图 8-16 和表 8-12。

表 8-12 垂直安装的母线槽预留孔尺寸 （单位：mm）

母线槽额定电流/A	*A*	*B*	母线槽额定电流/A	*A*	*B*
250～1000	≥160	200	2000	≥300	400
1600	≥250	350	2500	≥350	500

水平安装的母线槽预留孔尺寸见图 8-17 和表 8-13。

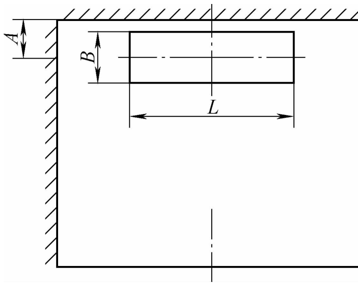


图 8-16 垂直安装的母线槽预留孔尺寸

L——一列母线槽：330mm；两列母线槽：660mm；两列以上，每增加一列，母线槽 *L* 增加 460mm

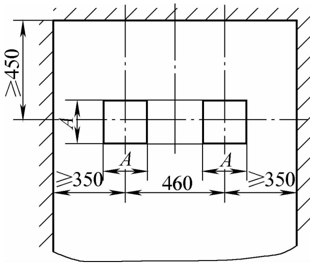


图 8-17 水平安装的母线槽预留孔尺寸

注：如带插接开关箱，母线槽上方不允许管道通过，否则应增加距离。

表 8-13 水平安装的母线槽预留孔尺寸

额定电流/A	250～1000	1600	2000	2500
A/mm	200	350	400	500

垂直安装的母线槽及预埋件尺寸见图 8-18 和表 8-14。

母线沿屋面吊装尺寸如图 8-19a 所示，沿墙面侧装如图 8-19b 所示，沿垂直竖井安装正面如图 8-19c 所示，沿垂直竖井安装侧面如图 8-19d 所示。

表 8-14 垂直安装的母线槽及预埋件尺寸

母线槽额定电流/A	尺寸/mm			*n*	母线槽额定电流/A	尺寸/mm			*n*
	A	*B*	*C*			*A*	*B*	*C*	
250～100	≥100	≥160	0	1	2000	≥1500	≥300	125	2
1600	≥1500	≥250	105	2	2500	≥1500	≥350	250	3

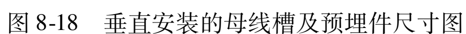


图 8-18　垂直安装的母线槽及预埋件尺寸图

1—接地排　2—∠60×60×6 角钢（用户自理）　3—匚 100×48×5.3 槽钢

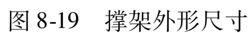


图 8-19　撑架外形尺寸

a）屋面吊装　b）墙面侧装　c）垂直竖井安装正面　d）垂直竖井安装侧面

250 ~ 2500A 的母线槽垂直安装示意如图 8-20 所示。

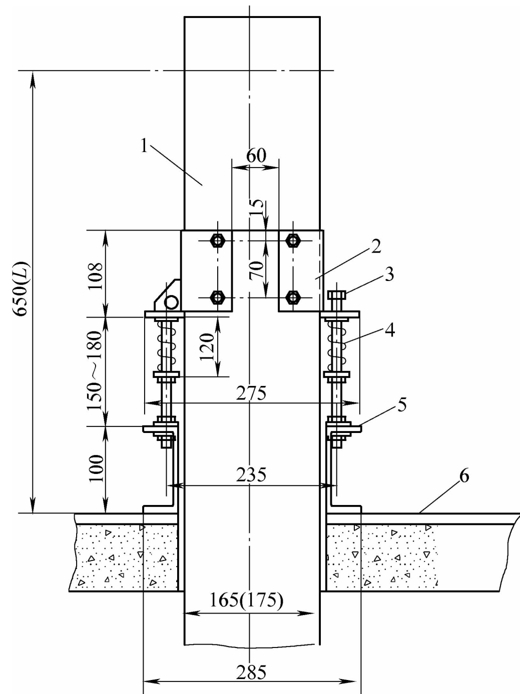


图 8-20　250 ~ 2500A 的母线槽垂直安装示意

1—母线槽　2—支件　3—M16 × 200、螺纹长 100 的螺栓　4—弹簧

5—100 × 48 × 5.3 槽钢（用户自备）　6—地面

注：1. 括号内数据是带插接孔母线槽。

2. L 为母线槽连接螺栓中心至地面距离。

母线槽垂直安装始端及终端固定如图 8-21 所示。

母线槽平卧水平支架安装如图 8-22 所示，安装尺寸见表 8-15。

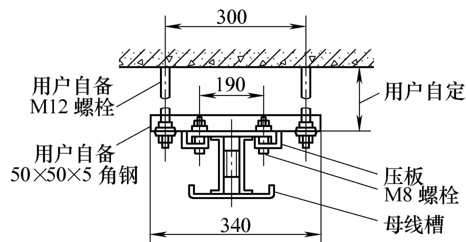


图 8-21　母线槽垂直安装始端及终端固定

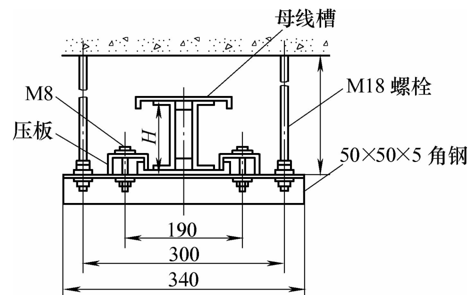


图 8-22　母线槽平卧水平支架安装

表 8-15　母线槽平卧水平支架尺寸

额定电流/A	250	400	630	800	1000	1600	2000	2500
H/mm	85	95	105	115	135	250	190	415

注：支架间距不大于 2500mm。

母线槽侧卧水平支架安装如图 8-23 所示，安装尺寸见表 8-16。

七、母线的验收和电气测试

母线安装好后应进行电气测试和验收，合格后才能按规定涂漆。

1）母线的检查。金属构件的加工、配制、焊接或螺栓连接应符合规定，各部分螺栓、垫圈、开口销等零部件应齐全可靠；母线的弯曲、焊接、螺栓连接、安装架设应符合规定，连接正确，螺栓紧固、接触可靠；相间及对地电气安全距离应符合要求；瓷件、铁件及胶合处应完整，充油套管应无渗油漏气，油位正常；瓷件无裂纹、无歪斜，母线的伸缩接头配制合理正确，母线的吊点、吊具选择无误等。

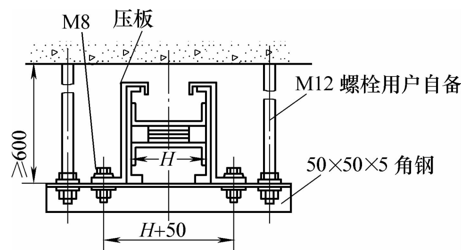


图 8-23　母线槽侧卧水平支架安装

表 8-16　母线槽侧卧水平支架安装尺寸

额定电流/A	250	400	630	800	1000	1600	2000	2500
H/mm	85	95	105	115	135	250	290	415

注：支架间距不大于 2000mm。

①各部位涂漆及相色标志应正确完好。

②母线弯曲、扭转部分应完好无裂纹。

③对硬母线应使用塞尺检查其接头，对软母线应测量其接头的电阻值，结果都要符合要求。

2）电气参数的测试。母线的截面积、材质应符合设计规定；母线相与相、相与地的绝缘电阻应大于 1MΩ。绝缘电阻的测量应选用 500V 的绝缘电阻表或数字绝缘电阻测试仪进行测试。测试时应将柜体各个回路的隔离开关断开，从母线直接取得电压的线圈的接线临时断开，接地母线测试时应将与柜体接地螺栓的连接及与接地引线的连接临时断开。吊装的母线还应测量吊索、吊环、绝缘垫板、穿钉等辅件与相、与地的绝缘电阻，应大于 1MΩ。凡有不符合规定的要找出故障点修复。

3）测量母线绝缘电阻，并进行母线绝缘子等设备的耐压试验，应无放电闪络现象。

第三节　母线的运行维护

一、母线的正常运行

母线的正常运行状态是指母线在额定条件下，能够长期、连续地汇集，分配和传送额定电流的工作状态，裸母线及其接头通过额定电流时本身温度不应超过 70℃。当其接触面处有锡的可靠覆盖层时为 85℃；有银的可靠覆盖层时为 95℃；氩弧焊接时为 100℃。

母线的电压等级完全取决于支持绝缘子的绝缘水平。因此，母线在正常运行时，支持绝缘子和悬式绝缘子应完好无损，无放电现象。软母线弧垂应符合要求，相间距离应符合规程规定，无断股、散股现象。硬母线应平、直，不应弯曲，各种电气距离应满足规程要求，母排上的示温蜡片应无融化；连接处应无发热，伸缩应正常。

二、母线的巡视检查

母线是配电所最重要的电气设备之一，一旦发生故障将会中断全部出线供电。因此，加强对母线的运行维护和检查，对保证变电所安全生产至关重要。母线的巡视检查项目如下：

1）母线有无断股，伸缩是否正常，母线接头连接处有无发热变色现象。

2）设备线卡、金具是否紧固，有无松动严重锈蚀、脱落现象。

3）绝缘子是否清洁，有无裂纹损伤、放电现象。

4）所有构架的接地是否完好、牢固，有无断裂现象。

三、母线的故障处理

1. 母线过热

母线过热的原因如下：

1）母线容量偏小。

2）接头外连接螺钉松动或接触面氧化，使接触电阻增大。

母线是否过热，可用变色漆或示温蜡片判别。若变色漆变黄、变黑，则说明母线过热已经很严重。使用红外线测温仪测量母线的温度，能更准确地判断母线是否过热。

发现母线过热时，应尽快报告调度员，采取倒换母线或转移负荷，直至停电检修处理。

2. 母线绝缘子破损放电

绝缘子破损放电，多因其表面污秽严重引起。尤其化工厂附近的配电所，普遍存在这种现象。含有大量硅钙的氧化物粉尘落在绝缘子表面所形成的固体和不易被雨水冲走的薄膜，附着在绝缘子表面。阴雨天气，这些粉尘薄膜能够导电，使绝缘子表面耐压降低，泄漏电流增大，导致绝缘子对地放电。另外，系统短路冲击、气温骤变等使绝缘子上产生很大的应力，造成绝缘子断裂破损。

发现绝缘子破损放电等异常情况时，应尽快报告调度员，请求停电处理。在停电更换绝缘子前，应加强对破损绝缘子的监视，增加巡回检查次数。

3. 母线失电

母线失电是指母线本身无故障而失去电源，是由于电源线路跳闸母线失电，或出线故障，该跳断路器拒跳，引起越级跳闸，造成母线失电。判别母线失电的依据如下：

（1）事故现象

1）该母线上的电压表指示为零。

2）该母线上各出线及变压器的负荷消失，负荷电流为零。

3）该母线上所用电失电。

（2）事故处理

1）单电源供电终端变电所母线失电的处理。

①母线失电后，值班人员应立即进行检查，并汇报调度。当确定失电原因非本所母线或主变压器故障所引起时，可保持本所设备原始状态不变。

②若为配电变压器故障越级跳闸，则应拉开配电变压器各侧断路器，进行检查处理。

③10kV 电源侧断路器跳闸，造成母线失电后，值班人员应对该母线及各出线间隔电气设备进行详细检查，并汇报调度，拉开该母线上的所有断路器。如非本所母线故障或配电变压器保护误动，则一般为线路故障，其断路器或保护拒动所致。在查出拒动断路器使其断开并拉开隔离开关后，可恢复对停电母线送电。

2）多电源供电母线失电，在确定母线失电原因不是本所母线故障所引起后，为防止各电源突然来电引起非同期，值班人员应按下述要求自行处理：

①单母线应保留一电源断路器，其他所有断路器（包括配电变压器和馈线断路器）全部拉开。

②检查本所有无拒动断路器，若有，应断开此断路器且将其隔离开关拉开，并汇报调度。

4. 母线故障

当母线上发生故障时，引起配电所停电，或使设备遭到严重破坏。因此，值班人员在母线故障后应迅速判断故障情况，及时处理以便恢复供电。

（1）母线故障的原因

母线故障分为单相接地和多相短路故障。运行经验指出，母线故障多数为单相接地，而多相短路故障所占的比例很少。发生故障的原因：

1）线路绝缘子和开关套管的闪络。

2）连接在母线上的隔离开关、绝缘子或避雷器的损坏。

3）连接在母线上的电压互感器及装设在断路器和母线之间的电流互感器发生故障。

4）二次回路故障引起自动装置误动使母线停电。

5）由于人员误操作，如带负荷拉隔离开关产生电弧而引起的母线故障等。

（2）事故检查处理

当母线发生故障时，值班人员应根据现象判断故障性质，判明故障发生的范围和事故停电范围。立即汇报调度，并自行将故障母线上的未跳闸断路器拉开。然后按以下原则处理：

1）找到故障点，值班员可根据实际情况自行隔离后汇报调度，按调度命令对停电母线恢复送电。有条件时应考虑用外来电源对停电母线先受电，联络线要防止非同期合闸。

2）找到故障点但不能迅速隔离，经过检查找不到故障点时，应立即向调度汇报处理。

四、母线的检修项目

1）清扫母线，检查接头伸缩节及固定情况。

2）检查、清扫绝缘子，测量悬式绝缘子串的零值绝缘子。

3）检查软母线弧垂及电气距离。

4）绝缘子交流耐压试验。

第九章　无功功率补偿装置

第一节　无功补偿的作用及基本原则

一、无功补偿的作用

无功电源与有功电源一样，是保证电能质量不可缺少的部分。无功补偿可提高设备利用率。减少设备容量，降低线损，节省电费支出。尤其在工业消耗的无功功率中，异步电动机约占 70%，因此对其实行就地补偿以提高功率因数，对节约电能有重要的作用。

二、无功补偿的基本原则

1）配电线路无功应在各自线路供电范围内平衡。

2）配电所内的配电变压器低压供电范围内的无功功率，应通过配电变压器低压侧的集中与分散补偿予以平衡。

3）用户的无功应由用户通过集中的无功自动补偿装置和用电设备的就地补偿装置进行平衡，以达到降损和供电部门对功率因数的要求。

①100kV·A 及以上高压供电的电力用户，功率因数宜达到 0. 95 以上。

②其他电力用户功率因数宜达到 0. 90 以上。

4）公用配电变压器现阶段以集中自动分组投切电容器补偿方式为主。这种方式并不能减少低压配电线的线路损耗，低压线路的分散补偿及用户末端补偿可有效降低低压配电线的损耗，有条件时可在用户侧电表箱和配电箱内装设一定容量的电容器，作为无功的基本补偿。公用配电变压器最大负荷率一般按容量的 75%，自然功率因数由 0. 8 考虑补偿到 0. 95 来选择容量。通常按公用配电变压器容量的 20% ~40% 进行配置。

5）对无功功率较大的用电设备，应进行随机随器的无功补偿。如各种异步电动机就地配装补偿电容，空调器、电冰箱、洗衣机内部装设补偿电容，随设备的运行同步投入补偿电容，可获得最佳的补偿效益。

6）电力用户的无功补偿，应根据其负荷的变化，及时投切无功补偿容量。为此，应安装无功补偿自动投切装置，并应有防止向电网返送无功功率的措施。

第二节　无功功率补偿计算

一、电容值计算

电容器的电容值可按式（9-1）计算，即

$$C = \frac{Q_C \times 10^3}{2\pi f U_C^2} \tag{9-1}$$

式中，C 为电容值，单位为 μF；Q_C 为电容器容量，单位为 kvar；U_C 为电容器电压，单位为 kV；f 为电源频率，50Hz；π 为常数，取 3. 14。

二、电容器额定电流计算

1. 单相电容器额定电流计算

单相电容器的接线原理如图 9-1 所示。

单相电容器的额定电流可按式（9-2）计算，即

$$I_{NC}=2\pi fCU_{NC}\times10^{-3} \tag{9-2}$$

式中，U_{NC}为电容器的额定电压。

2. 三相电容器星形联结额定电流计算

三相电容器星形联结原理如图 9-2 所示。

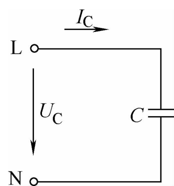


图 9-1　单相电容器的接线原理图

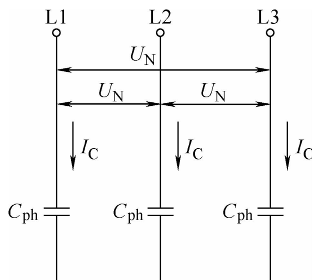


图 9-2　三相电容器星形联结原理图

三相电容器星形联结时的额定电流可按式（9-3）或式（9-4）计算，即

$$I_{NC}=\frac{Q_{NC}}{3U_{ph}} \tag{9-3}$$

式中，I_{NC}为电容器的额定线电流，单位为 A；Q_{NC}为三相电容器的额定容量，单位为 kvar；U_{ph}为电容器的额定相电压，单位为 kV。

$$I_{NC}=2\pi fC_{ph}U_{ph}\times10^{-3} \tag{9-4}$$

式中，I_{NC}为电容器的额定线电流，单位为 A；π 为常数，取 3.14；f 为电源频率，50Hz；C_{ph}为三相电容器每相电容值，为三相电容值的 1/3，单位为 μF；U_{ph}为相电压，单位为 kV。

【例 9-1】 三相电容器型号为 BZMJ0.69-50-3 型，额定电压 $U_{NC}=0.69$kV，额定容量 $Q_{NC}=50$kvar，电容值 $C=995\mu$F，星形联结，计算电容器的额定线电流。

解： 三相电容器的额定线电流按式（9-3）计算，得

$$I_{NC}=\frac{Q_{NC}}{3U_{ph}}=\frac{50\sqrt{3}}{3\times0.69}\text{A}=41.84\text{A}$$

或按式（9-2）计算，得

$$\begin{aligned}I_{NC}&=2\pi fC_{ph}U_{ph}\times10^{-3}\\&=2\times3.14\times50\times\frac{995}{3}\times\frac{0.69}{\sqrt{3}}\times10^{-3}\text{A}\\&=41.49\text{A}\end{aligned}$$

或查表 9-1 得额定线电流 $I_{NC}=41.2$A

3. 三相电容器三角形联结额定电流计算

三相电容器三角形联结原理如图 9-3 所示。

三相电容器三角形联结时的额定电流可按式（9-5）或式（9-6）计算，即

$$I_{NC}=\frac{Q_{NC}}{\sqrt{3}U_{NC}} \qquad (9\text{-}5)$$

$$I_{NC}=\frac{2\pi fCU_{NC}\times10^{-3}}{\sqrt{3}} \qquad (9\text{-}6)$$

三相电容器三角形联结时的相电流可按式（9-7）计算，即

$$I_{NCph}=\frac{I_{NC}}{\sqrt{3}}=\frac{2\pi fCU_{NC}\times10^{-3}}{3} \qquad (9\text{-}7)$$

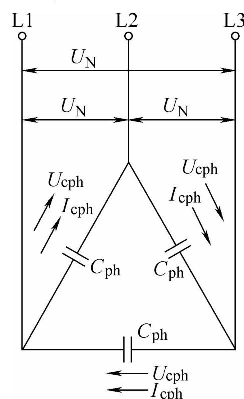


图 9-3　三相电容器三角形联结原理图电流计算

三、电容器额定容量计算

1. 单相电容器额定容量计算

单相电容器的额定容量可按式（9-8）计算，即

$$Q_{NC}=U_{NC}I_{NC}=2\pi fCU_{NC}^2\times10^{-3} \qquad (9\text{-}8)$$

式中，Q_{NC}为电容器的额定容量，单位为 kvar；U_{NC}为电容器的额定电压，单位为 kV；I_{NC}为电容器的额定电流，单位为 A；π 为常数，取 3. 14；f 为电源频率，50Hz；C 为电容值，单位为 μF。

2. 三相电容器星形联结额定容量计算

三相电容器星形联结时的额定容量可按式（9-9）或式（9-10）计算，即

$$Q_{NC}=\sqrt{3}U_{NC}I_{NC} \qquad (9\text{-}9)$$

$$Q_{NC}=\sqrt{3}U_{NC}\frac{2\pi fCU_{NC}\times10^{-3}}{\sqrt{3}}=2\pi fCU_{NC}^2\times10^{-3} \qquad (9\text{-}10)$$

3. 三相电容器三角形联结额定容量计算

三相电容器三角形联结时的额定容量可按式（9-11）或式（9-12）计算，即

$$Q_{NC}=\sqrt{3}U_{NC}I_{NC} \qquad (9\text{-}11)$$

$$Q_{NC}=\sqrt{3}U_{NC}I_{NC}=\sqrt{3}U_{NC}\frac{2\pi fCU_{NC}\times10^{-3}}{\sqrt{3}}$$
$$=2\pi fCU_{NC}^2\times10^{-3} \qquad (9\text{-}12)$$

【例 9-2】 一台三相 BZMJ0. 4-50-3 型的电容器，额定电压 $U_{NC}=0.4$kV，额定容量 $Q_{NC}=50$kvar，电容器三角形联结，试计算该电容器的电容值及电容器的额定电流。

解： 电容器的电容值按式（9-1）计算，得

$$C=\frac{Q_{NC}\times10^3}{2\pi fCU_{NC}^2}=\frac{50\times10^3}{2\times3.14\times50\times0.4^2}\mu F=995\mu F$$

或查表 9-1 选择电容器铭牌电容值 $C=995\mu F$，频率 $f=50$Hz。

电容器的额定电流按式（9-5）或式（9-6）计算，得

$$I_C=\frac{Q_{NC}}{\sqrt{3}U_{NC}}=\frac{50}{\sqrt{3}\times0.4}A=72.17A$$

$$I_C=\frac{2\pi fCU_{NC}\times10^{-3}}{\sqrt{3}}=\frac{2\times3.14\times50\times995\times0.4\times10^{-3}}{\sqrt{3}}A=72.15A$$

BZMJ 系列电容器的技术参数见表 9-1。

表 9-1　BZMJ 系列电容器的技术参数

型号规格	额定电压 /kV	额定输出 /kvar	相数(联结)	额定线电流 /A	额定电容量 /μF
BZMJ0. 4-5-1	0. 4	5	单相(全并)	12. 5	100
BZMJ0. 4-5-3	0. 4		三相(△)	7. 2	
BZMJ0. 69-5-3	0. 69		三相(Y)	4. 2	
BZMJ0. 4-7. 5-1	0. 4	7. 5	单相(全并)	18. 8	149
BZMJ0. 4-7. 5-3	0. 4		三相(△)	10. 8	
BZMJ0. 69-7. 5-3	0. 69		三相(Y)	6. 3	
BZMJ0. 4-10-1	0. 4	10	单相(全并)	25. 0	199
BZMJ0. 4-10-3	0. 4		三相(△)	14. 4	
BZMJ0. 69-10-3	0. 69		三相(Y)	8. 3	
BZMJ0. 4-12-1	0. 4	12	单相(全并)	30. 0	239
BZMJ0. 4-12-3	0. 4		三相(△)	17. 3	
BZMJ0. 69-12-3	0. 69		三相(Y)	10. 0	
BZMJ0. 4-14-1	0. 4	14	单相(全并)	35. 0	279
BZMJ0. 4-14-3	0. 4		三相(△)	20. 2	
BZMJ0. 69-14-3	0. 69		三相(Y)	11. 7	
BZMJ0. 4-15-1	0. 4	15	单相(全并)	37. 5	299
BZMJ0. 4-15-3	0. 4		三相(△)	21. 7	
BZMJ0. 69-15-3	0. 69		三相(Y)	12. 5	
BZMJ0. 4-16-1	0. 4	16	单相(全并)	40. 0	318
BZMJ0. 4-16-3	0. 4		三相(△)	23. 1	
BZMJ0. 69-16-3	0. 69		三相(Y)	13. 3	
BZMJ0. 4-20-1	0. 4	20	单相(全并)	50. 0	398
BZMJ0. 4-20-3	0. 4		三相(△)	28. 9	
BZMJ0. 69-20-3	0. 69		三相(Y)	16. 7	
BZMJ0. 4-25-1	0. 4	25	单相(全并)	62. 5	498
BZMJ0. 4-25-3	0. 4		三相(△)	36. 1	
BZMJ0. 69-25-3	0. 69		三相(Y)	20. 8	
BZMJ0. 4-30-1	0. 4	30	单相(全并)	75. 0	597
BZMJ0. 4-30-3	0. 4		三相(△)	43. 3	
BZMJ0. 69-30-3	0. 69		三相(Y)	25. 0	
BZMJ0. 4-40-1	0. 4	40	单相(全并)	100. 0	796
BZMJ0. 4-40-3	0. 4		三相(△)	57. 7	
BZMJ0. 69-40-3	0. 69		三相(Y)	33. 3	
BZMJ0. 4-50-1	0. 4	50	单相(全并)	125. 0	995
BZMJ0. 4-50-3	0. 4		三相(△)	72. 2	
BZMJ0. 69-50-3	0. 69		三相(Y)	41. 7	

四、按配电变压器的额定容量计算无功功率补偿容量

配电变压器无功功率补偿前的功率因数 $\cos\varphi=0.78$，补偿到 $\cos\varphi_2=0.90$ 时，无功功率补偿容量可近似按式（9-13）计算，即

$$Q_C=(30\% \sim 40\%)S_N \tag{9-13}$$

式中，Q_C 为无功补偿容量，单位为 kvar；S_N 为配电变压器容量，单位为 kV・A。

配电变压器的无功功率补偿容量可按表 9-2 选择。

表 9-2　配电变压器的无功补偿容量

序号	变压器容量/kV・A	无功补偿容量/kvar	序号	变压器容量/kV・A	无功补偿容量/kvar
1	315	100	6	1250	400
2	400	128	7	1600	512
3	500	160	8	2000	640
4	630	210	9	2500	800
5	800	256			

五、按提高功率因数计算无功功率补偿容量

用户为了提高用电负荷的功率因数，增加配电变压器的有功功率，降低损耗，提高运行电压，进行无功补偿。

如果电力用户的最大负荷月的平均有功功率为 P_{av}，补偿前的功率因数为 $\cos\varphi_1$，补偿后欲将功率因数提高到 $\cos\varphi_2$，则补偿容量可按式（9-14），或式（9-15）计算，即

$$Q_C=P_{av}(\tan\varphi_1-\tan\varphi_2) \tag{9-14}$$

$$Q_C=P_{av}\left(\sqrt{\frac{1}{\cos^2\varphi_1}-1}-\sqrt{\frac{1}{\cos^2\varphi_2}-1}\right) \tag{9-15}$$

式中，Q_C 为所需要补偿容量，单位为 kvar；P_{av} 为最大负荷月平均有功功率，单位为 kW；$\tan\varphi_1$ 为补偿前的功率因数角正切值；$\tan\varphi_2$ 为补偿后的功率因数角正切值；$\cos\varphi_1$ 为补偿前的功率因数；$\cos\varphi_2$ 为补偿后的功率因数。

在考虑补偿容量时，$\cos\varphi_1$ 应采用最大负荷月平均功率因数，$\cos\varphi_2$ 的选取要适当。通常，将功率因数从 0.9 提高到 1 所需的补偿容量，与将功率因数从 0.72 提高到 0.9 所需的补偿容量相当，因此，在高功率因数下进行补偿其效果将显著下降。

六、按每千瓦有功负荷计算无功功率补偿容量

为了简化计算，根据各类用户经济功率因数值见表 9-3，再根据补偿前、后的功率因数值，可直接查表 9-4 得每千瓦有功负荷所需无功功率补偿容量。无功功率补偿容量可按式（9-16）计算，即

$$Q_C=Q_0P_{av} \tag{9-16}$$

式中，Q_C 为无功功率补偿容量，单位为 kvar；Q_0 为每千瓦有功负荷所需无功功率补偿容量，单位为 kvar/kW；P_{av} 为最大负荷月平均负荷，单位为 kW。

表 9-3　各类用户经济功率因数值

负荷类型	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
经济功率因数	0.85～0.90	0.90～0.95	0.90～0.95

表 9-4　每千瓦有功负荷所需无功功率补偿容量　　（单位：kvar/kW）

补偿前 $\cos\varphi_1$	补偿后 $\cos\varphi_2$												
	0.80	0.86	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
0.60	0.584	0.733	0.849	0.878	0.905	0.939	0.971	1.005	1.043	1.083	1.131	1.192	1.334
0.61	0.549	0.699	0.815	0.843	0.870	0.904	0.936	0.970	1.008	1.048	1.096	1.157	1.299
0.62	0.515	0.665	0.781	0.809	0.836	0.870	0.902	0.936	0.974	1.014	1.062	1.123	1.265
0.63	0.483	0.633	0.749	0.777	0.804	0.838	0.870	0.904	0.942	0.982	1.030	1.091	1.233
0.64	0.450	0.601	0.716	0.744	0.771	0.805	0.837	0.871	0.909	0.949	0.997	1.058	1.200
0.65	0.419	0.569	0.685	0.713	0.740	0.774	0.806	0.840	0.878	0.918	0.966	1.007	1.169
0.66	0.388	0.538	0.654	0.682	0.709	0.743	0.775	0.809	0.847	0.887	0.935	0.996	1.138
0.67	0.358	0.508	0.624	0.652	0.679	0.713	0.745	0.779	0.817	0.857	0.905	0.966	1.108
0.68	0.329	0.478	0.595	0.623	0.650	0.684	0.716	0.750	0.788	0.828	0.876	0.937	1.079
0.69	0.299	0.449	0.565	0.593	0.620	0.654	0.686	0.720	0.758	0.798	0.840	0.907	1.049
0.70	0.270	0.420	0.536	0.536	0.563	0.597	0.629	0.663	0.701	0.741	0.783	0.850	0.992
0.72	0.213	0.364	0.479	0.507	0.534	0.568	0.600	0.634	0.672	0.712	0.754	0.821	0.963
0.73	0.186	0.336	0.452	0.480	0.507	0.541	0.573	0.607	0.645	0.685	0.727	0.794	0.936
0.74	0.159	0.309	0.425	0.453	0.480	0.514	0.546	0.580	0.618	0.658	0.700	0.767	0.909
0.75	0.132	0.282	0.398	0.426	0.453	0.487	0.519	0.553	0.591	0.631	0.673	0.740	0.882
0.76	0.105	0.255	0.371	0.399	0.426	0.460	0.492	0.526	0.564	0.604	0.652	0.713	0.855
0.77	0.079	0.229	0.345	0.373	0.400	0.434	0.466	0.500	0.538	0.578	0.620	0.687	0.829
0.78	0.053	0.202	0.319	0.347	0.374	0.408	0.440	0.474	0.512	0.552	0.594	0.661	0.803
0.79	0.026	0.176	0.292	0.320	0.347	0.381	0.413	0.447	0.485	0.525	0.567	0.634	0.776
0.80		0.150	0.266	0.294	0.321	0.355	0.387	0.421	0.459	0.499	0.541	0.608	0.750
0.81		0.124	0.240	0.268	0.295	0.329	0.361	0.395	0.433	0.473	0.515	0.582	0.724
0.82		0.098	0.214	0.242	0.269	0.303	0.335	0.369	0.407	0.447	0.489	0.556	0.698
0.83		0.072	0.188	0.216	0.243	0.277	0.309	0.343	0.381	0.421	0.463	0.530	0.672
0.84		0.046	0.162	0.190	0.217	0.251	0.283	0.317	0.355	0.395	0.437	0.504	0.645
0.85		0.020	0.136	0.164	0.191	0.225	0.257	0.291	0.329	0.369	0.417	0.478	0.620
0.86			0.109	0.140	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.343	0.390	0.450	0.593
0.87			0.083	0.114	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.317	0.364	0.424	0.567
0.88			0.054	0.085	0.112	0.143	0.175	0.209	0.246	0.288	0.335	0.395	0.538
0.89			0.028	0.059	0.086	0.117	0.149	0.183	0.230	0.262	0.309	0.369	0.512
0.90				0.031	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.234	0.281	0.341	0.484

七、补偿电容器台数计算

补偿电容器台数可按式（9-17）计算，即

$$n = \frac{Q_C}{Q_{C0}} \tag{9-17}$$

式中，n 为补偿电容器台数；Q_C 为补偿电容器容量，单位为 kvar；Q_{C0} 为单台电容器的额定容量，单位为 kvar，一般取 30kvar 及以下。

八、补偿后增加的有功功率计算

配电变压器无功功率补偿后增加的有功功率可按式（9-18）计算，即

$$\begin{aligned}\Delta P &= P_2 - P_1 = S\cos\varphi_2 - S\cos\varphi_1 \\ &= \frac{P_1}{\cos\varphi_1}\cos\varphi_2 - P_1 \\ &= P_1\left(\frac{\cos\varphi_2}{\cos\varphi_1} - 1\right)\end{aligned} \quad (9\text{-}18)$$

式中，P_1 为补偿前的有功功率，单位为 kW；P_2 为补偿后的有功功率，单位为 kW；$\cos\varphi_1$ 为补偿前的功率因数；$\cos\varphi_2$ 为补偿后的功率因数。

【例 9-3】　某工厂安装一台 S11—1000/10 型配电变压器，额定容量 $S_N = 1000$kV · A，月平均最大负荷 $P_{av} = 950$kW，由自然功率因数 $\cos\varphi_1 = 0.8$ 提高到 $\cos\varphi_2 = 0.95$，计算无功功率补偿容量。

解：无功功率补偿容量按式（9-15）计算，得

$$\begin{aligned}Q_C &= P_{av}\left(\sqrt{\frac{1}{\cos\varphi_1^2} - 1} - \sqrt{\frac{1}{\cos\varphi_2^2} - 1}\right) \\ &= 950 \times \left(\sqrt{\frac{1}{0.8^2} - 1} - \sqrt{\frac{1}{0.95^2} - 1}\right)\text{kvar} \\ &= 950 \times 0.4213\text{kvar} = 400\text{kvar}\end{aligned}$$

或查表 9-4 得功率因数 $\cos\varphi_1 = 0.8$ 提高到功率因数 $\cos\varphi_2 = 0.95$ 时，每千瓦有功负荷所需补偿的无功功率 $Q_0 = 0.421$kvar/kW，按式（9-16）计算所需无功功率补偿容量，得

$$Q_C = Q_0 P_{av} = 0.421 \times 950\text{kvar} = 400\text{kvar}$$

选择无功功率补偿总容量 $Q_C = 400$kvar。

选择每台电容器的额定容量 $Q_N = 20$kvar，选用电容器台数按式（9-17）估算，得

$$n = \frac{Q_C}{Q_0} = \frac{400}{20}\text{台} = 20\text{ 台}$$

查表 9-1，选择 BZMJ0. 4-20-3 型电容器 20 台。

配电变压器增加的有功功率按式（9-18）计算，得

$$\begin{aligned}\Delta P &= P_2 - P_1 = S\cos\varphi_2 - S\cos\varphi_1 \\ &= 1000 \times 0.95\text{kW} - 1000 \times 0.8\text{kW} \\ &= 950\text{kW} - 800\text{kW} = 150\text{kW}\end{aligned}$$

九、电动机补偿容量的计算

用户的异步电动机，可采用个别补偿。其补偿容量一般按式（9-19）计算，即

$$Q_C \leqslant \sqrt{3} U_N I_0 \quad (9\text{-}19)$$

式中，Q_C 为电动机的补偿容量，单位为 kvar；U_N 为电动机的额定电压，单位为 kV；I_0 为电动机的空载电流，单位为 A。

一般电动机的空载电流查找比较困难，建议按式（9-20）计算，即

$$I_0 = 2I_N(1 - \cos\varphi) \quad (9\text{-}20)$$

式中，I_N 为电动机的额定电流，单位为 A；$\cos\varphi$ 为电动机的额定功率因数。

对于拖动惯性较大的用电设备（如大中型水泵、球磨机等）的电动机，由于停机后转速缓慢下降，产生过励磁现象可能性较小，其补偿容量可选得较大些，可按式（9-21）计算，即

$$Q_C = (0.3 \sim 0.5) P_N \tag{9-21}$$

式中，Q_C 为电动机的无功功率补偿容量，单位为 kvar；P_N 为电动机的额定容量，单位为 kW。

【例 9-4】 一台 Y280M—4 型异步电动机，额定电压 $U_N = 380V$，额定电流 $I_N = 164.3A$，功率因数 $\cos\varphi = 0.89$，计算无功功率补偿容量，并选择电容器型号。

解：电动机的空载电流按式（9-20）计算，得

$$I_0 = 2I_N(1 - \cos\varphi) = 2 \times 164.3 \times (1 - 0.89)A = 36A$$

电动机的无功功率补偿容量按式（9-19）计算，得

$$Q_C = \sqrt{3}U_N I_0 = \sqrt{3} \times 0.38 \times 36\text{kvar} = 23.7\text{kvar}$$

查表 9-1 可知，选用 BZMJ0.4-20-3 型三相电容器，电容器的额定电压 $U_N = 0.4kV$，额定容量 $Q_N = 25kvar$。

第三节　RVT 功率因数控制器

一、主要特点

1）ABB 公司生产的 RVT 功率因数控制器，采用大屏幕图表显示屏，使无功功率补偿的信息、提示和定位非常明确。

2）具有极易浏览编排有序的菜单和项目。

3）具有参数的设定和测量的遥控监视功能。

4）帮助键（Help）提供 RVT 性能和功能的全面介绍。

5）RVT 可计算和显示电网和电容器组的参数，如电压、电流、谐波频谱图以及其他参数。

6）引导浏览菜单和编程的资料和告警信息全过程。

7）C/K、激活的输出回路、顺序切换和移相均可全自动设定。

8）RVT 的全自动设定使调试快捷方便。

9）可编程的阈值，使得电容器组不受诸如过电压和欠电压、过热和过长的谐波畸变影响。

10）RVT 适用于 70℃的高温环境。

11）RVT 可以连接的交流电压范围 100～440V，频率 50Hz。

12）RVT 可连接 5A 或 1A 的电流互感器。

13）RVT 可选取自定义的测量数据，并显示在屏幕上。

14）RVT 允许设定两个日、夜不同的功率因数 $\cos\varphi$ 目标值。

15）RVT 的背面设置闭锁开关，可防止未经授权的操作。

16）记录有最后 5 次的报警信息日志，并能在任何时间查询。

17）事件日志：针对所选的测量参数和根据所设阈值，RTU 记录在两次复位之间最大值和测量值超过阈值的总持续时间。

二、主要功能

1. 监视功能

1）有功功率（kW）；
2）视在功率（kV · A）；
3）无功功率（kvar）；
4）达到目标功率因数 $\cos\varphi$ 所需的无功功率；
5）电压（V）；
6）电流（A）；
7）温度（℃）；
8）总电压谐波畸变百分数，THDV%；
9）总电流谐波畸变百分数，THDI%；
10）频率（Hz）。

2. 测量功能

1）功率因数 $\cos\varphi$（日/夜）；
2）电压谐波频谱图：$U_2 \sim U_{49}$（%频谱）；
3）电流谐波频谱图：$I_2 \sim I_{49}$（%频谱）；
4）达到目标功率因数所需的程序；
5）每个输出回路的切换数。

3. 可编程参数

1）目标功率因数 $\cos\varphi$（日/夜）；
2）再生模式中的目标功率因数 $\cos\varphi$；
3）移相（用于特殊电流互感器的接线方式）；
4）C/K（启动电流）；
5）顺序切换（自定义）；
6）激活的输出回路数；
7）切换的延时（开/关/复位）；
8）切换模式（线性或循环—正常或积分—直线或累进）；
9）报警阈值；
10）单相或三相连接。

4. 保护功能

RVT 功率因数控制器具有过电压、欠电压保护和电压谐波畸变（THDV）保护功能。

5. 通信功能

新的 RVT-Modbus 可通过 Modbus 转换器（RS485）连接到遥控系统，所有参数的设备和测量均可遥距监控。打印机连接，输入日/夜 $\cos\varphi$、输入外置报警；输出报警继电器，输出风扇继电器。

6. 报警功能

当发生以下情况时，会接通报警：

1）所有输出回路，均在被接通后 6min 内，而功率因数 $\cos\varphi$ 还没有达到目标值；
2）RVT 的内部温度高达 85℃以上；

3）达到过电压、欠电压的门限值；
4）电源消失；
5）谐波畸变（THDV）超过门限值。

三、菜单浏览

编排有序的菜单和项目，易于浏览菜单。
1）按△键进入测量；
2）按▽键进入设定，C/K、激活的输出Ⓓ路、顺序切换和移相均可自动设定；
3）按OK键，设定确定；
4）按ESC键，返回前项选择。

四、RVT 的调试

1）按OK键，在调试菜单上选择自动；
2）按OK键，激活自动设定过程；
3）按▽键，输入电流互感器电流比；
4）按OK键，电流互感器电流比确定；
5）参数正在自动设定，可能要数分钟，期间电容器会切换数次；
6）按▽键，输入目标功率因数 $\cos\varphi$；
7）按OK键，即完成自动设定操作全部步骤。

第四节　电容器的安装

一、电容器安装的基本要求

1）在设计、选型及安装并联电容器装置时，首先应符合 GB50227—2008《并联电容器装置设计规范》的规定，并符合 DL/T 842—2003《低压并联电容器装置使用技术条件》的规定。海拔 1000m 以下的热带地区，应采用符合 GB/T 6916—2008《湿热带电力电容器》规定的定型产品。

2）周围环境不含有对金属和绝缘介质有害的侵蚀性气体和蒸汽，以及大量的尘埃。

3）周围环境无易燃、易爆危险，无剧烈的冲击和振动。

1. 对电容器室的要求

1）电容器室最好为单独建筑物，其耐火等级不应低于二级，并就近设置消防设施。

2）电容器室的通风应良好，使电容器因热损耗产生的热量能以对流和辐射方式而散出。

3）电容器室屋顶应采取隔热措施，进、出风口应有防雨雪和小动物进入的措施。

4）电容器室不应有窗户，门宜设在北侧或东侧，应能向左右外开 90°以上。

2. 对安装电容器的要求

1）电容器分层安装时，一般不超过三层，层间不应加隔板。电容器母线对上层构架的垂直距离不应小于 20cm，下层电容器的底部距地面应大于 30cm。

2）电容器构架间的水平距离不应小于 0.5m，每台电容器之间的距离不应小于 50mm，电容器的铭牌应面向通道。

3）电容器的额定电压与低压电力网的额定电压相同时，应将电容器的外壳和支架接

地。当电容器的额定电压低于电力网的额定电压时，应将每相电容器的支架绝缘，且绝缘等级应和电力网的额定电压相匹配。

4）电容器应在适当位置设置温度计或贴示温蜡片，以便监视运行温度。

5）电容器应装设相间及电容器内部元件故障的保护装置或熔断器。低压电容器组的容量超过 100kvar 及以上者，可装设低压断路器进行保护。

6）电容器应有合格的放电装置并按需要加装串联电抗器。

7）总油量在 300kg 以下的低压电容器可装设在厂房内，但应有单独间隔，通风良好。20 台以下的电容器可装在配电室的单独间隔内，成套的电容器柜应靠在一侧安装。

8）总容量在 30kvar 及以上的低压电容器组，每组应加装电流表。总容量在 60kvar 及以上的低压电容器组应加装电压表。

二、WGK-31 系列无功功率补偿装置的安装接线

为了防止因过补偿造成向电网倒送无功功率和产生自励过电压或者因欠补偿造成功率因数偏低，因此要求并联电容器组补偿能够随负荷的变化而自动进行投切。

无功功率补偿 WGK-31 系列装置主要安装于 0.4kV 低压电容器柜上，对电网功率因数及无功功率进行监测，以无功功率和功率因数为控制物理量，对电容器进行自动投切。装置具有欠电流闭锁，过电压全切功能，先投先切，保护及延长电容器使用寿命。装置响应及时迅速，补偿效果好，工作可靠，杜绝了危害电网的过补偿现象，可以有效地提高功率因数、稳定电压、提高供电质量、改善电网的供电不平衡。装置具有数字微处理器，可自动调节功率因数、8 步和 12 步输出、最后两步可编程为报警或风扇控制功能。

WGK—31—302 型无功功率补偿自动控制装置安装接线原理如图 9-4 所示。

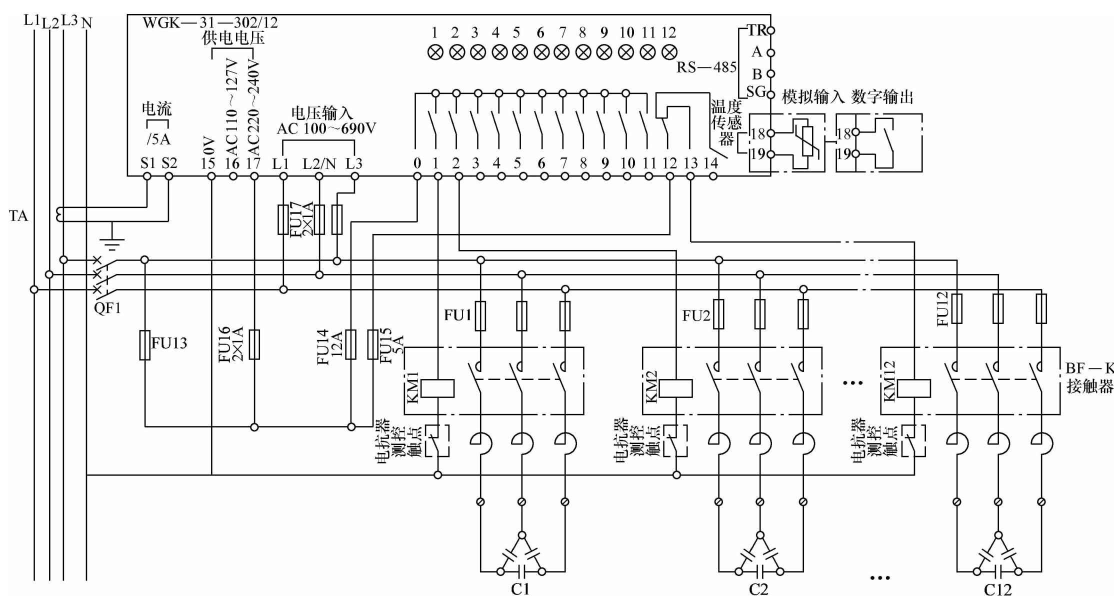


图 9-4　WGK—31—302 型无功功率补偿自动控制装置安装接线原理

注：1. 电源端子 17、C、12 必须取自同一相线。

2. 继电器输出端的负荷能力只能带一个接触器线圈，如需带两个以上接触器线圈，需使用中间继电器扩展。

WGK—31—100 型无功功率补偿控制装置安装接线原理如图 9-5 所示。

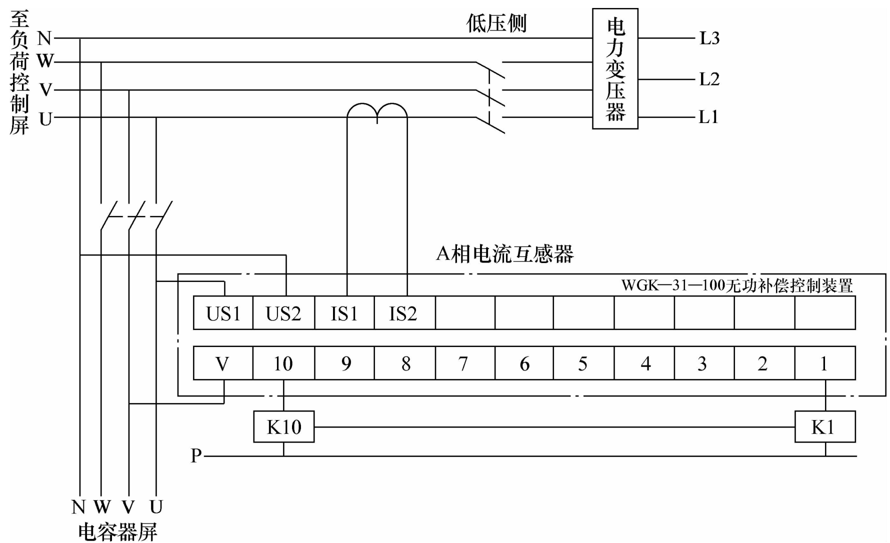


图 9-5 WGK—31—100 型无功功率补偿控制装置安装接线原理图

注：1. 接触器为 380V，P 点接 C 相。

2. 接触器为 220V，P 点接 N。

3. 取样电压为 220V。

WGK—31—001 型无功功率补偿控制装置安装接线原理如图 9-6 所示。

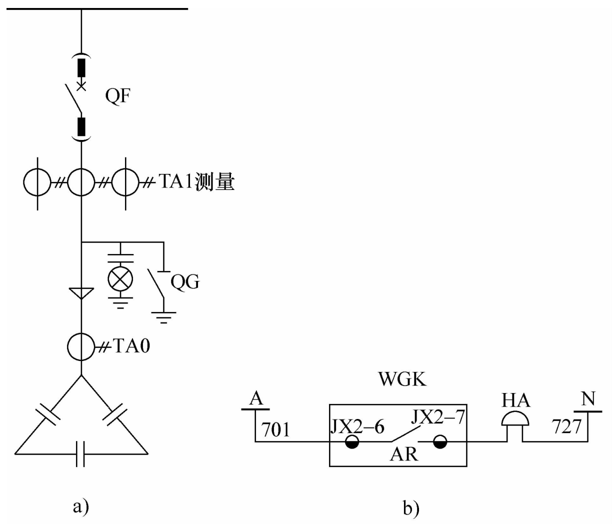


图 9-6 WGK—31—001 型无功功率补偿控制装置安装接线原理

a）一次主接线方案 b）报警装置

WGK—无功补偿单元 FU—熔断器 KM—接触器 HA—电铃

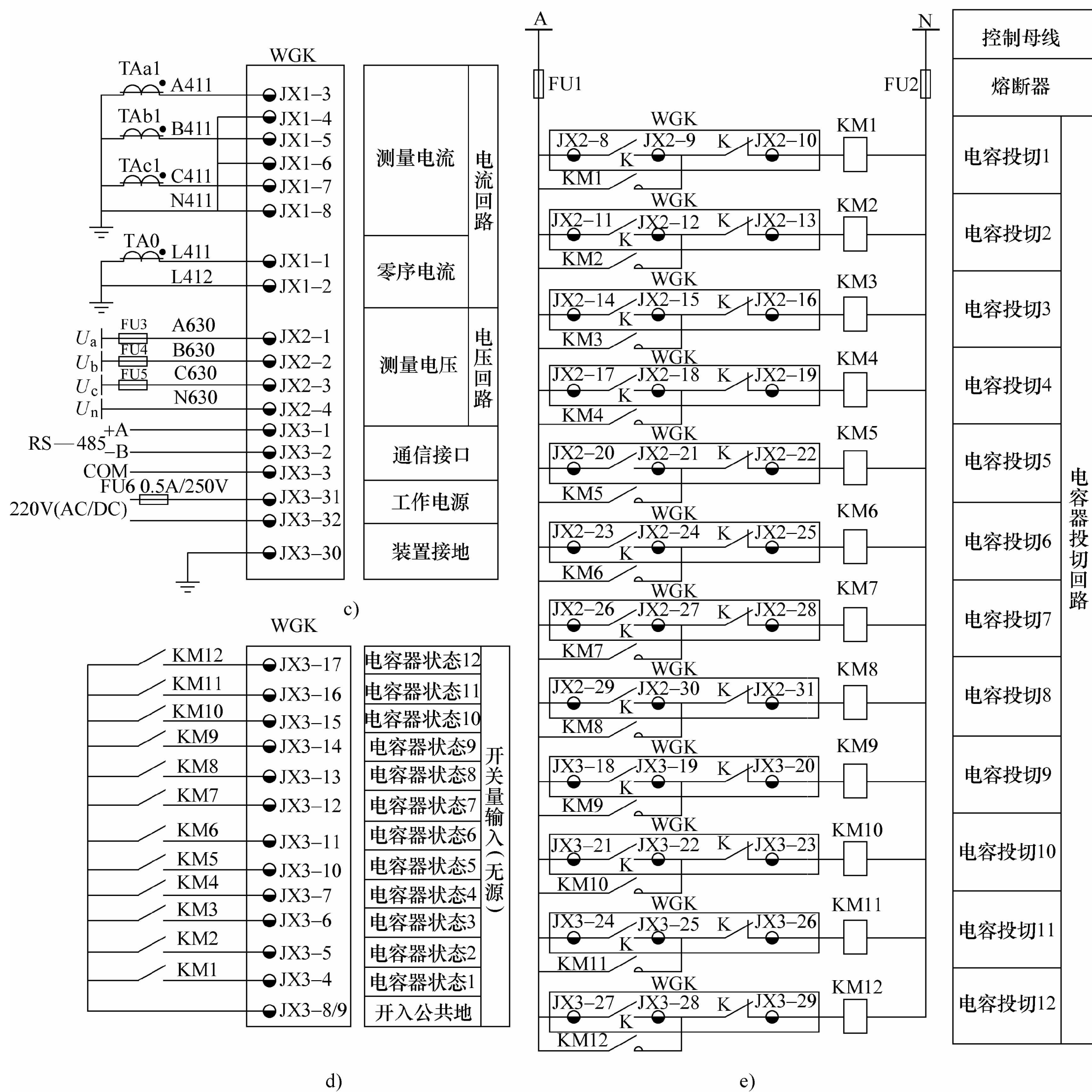


图 9-6　WGK—31—001 型无功功率补偿控制装置安装接线原理（续）

c）电流、电压回路　d）开关量输入回路　e）电容器投切回路

WGK—无功补偿单元　FU—熔断器　KM—接触器　HA—电铃

三、RVT 型无功功率补偿装置的安装接线（见图 9-7）

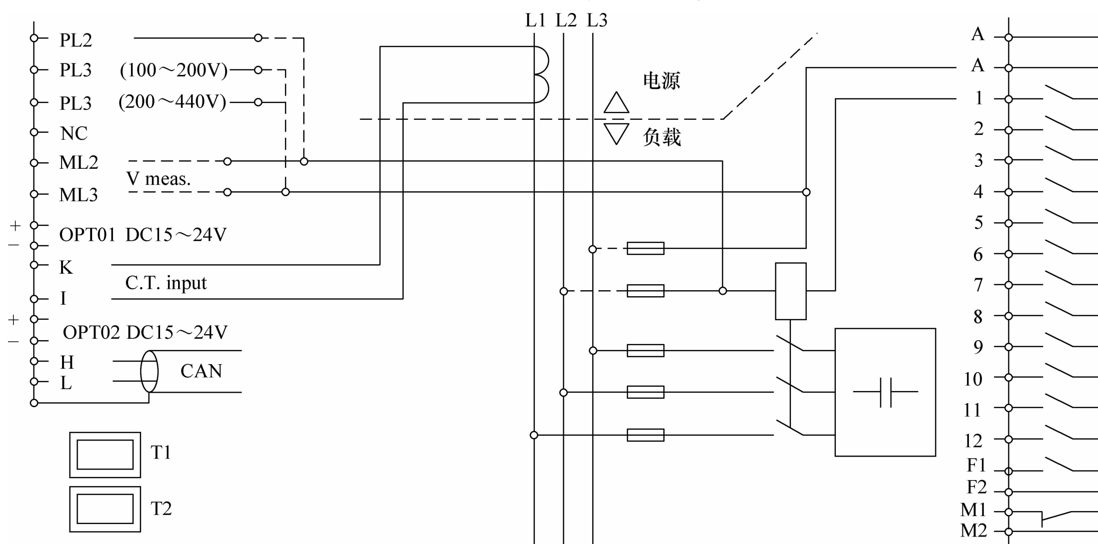


图 9-7　RVT 型无功功率补偿装置安装接线

PL2，PL3—电源　ML2，ML3—测量　OPT01—日/夜输入　K，I—电流互感器　OPT02—外部报警输入

T1，T2—温度探针的输入　H，L—CAN：扩展模块　A，A—输出继电器的公共接点　1-12—输出回路

F1，F2—风扇输出继电器　M1，M2—报警输出继电器

第五节　电容器的运行维护

一、新装电容器组投入运行前的检查

1）新装电容器组投入运行前应经过交接试验，并达到合格。

2）布置合理，各部分连接牢靠，接地符合要求。

3）接线正确，电压应与电网额定电压相符。

4）放电装置符合规程要求，并经试验合格。

5）电容器组的控制、保护和监视回路均应完善，温度计齐全，并试验合格，整定值正确。

6）与电容器组连接的电缆、断路器、熔断器等电气设备应试验合格。

7）三相间的容量保持平衡，误差值不应超过一相总容量的 5%。

8）外观检查应良好，无渗漏油现象。

9）电容器室的建筑结构和通风措施均应符合规程要求。

二、电容器组的运行操作

1）为了延长电容器的寿命，电容器应在额定电流下运行，最高不应超过额定电流的 1.3 倍。

2）电容器应在额定电压下运行，一般不超过额定值的 1.05 倍，但也允许在额定电压的 1.1 倍下运行 4h。如电容器使用电压超过母线额定电压 1.1 倍时应将电容器停用。

3）电容器周围空气温度为 40℃时，电容器外壳温度不得超过 55℃（每台电容器应贴示温片）。

4）三相指示灯（即放电电压互感器二次信号灯）应亮。如信号灯不亮应查明原因，必要时应向调度汇报并停用电容器，并对电压互感器进行检查。电容器停用后，应进行人工多次放电，才可验电后装设接地线。

5）正常运行情况下，电容器组的操作原则：电容器断路器的投切操作，由变（配）电所内自行掌握（按现场规定）。当配电所电容器组的母线全停电时，应先拉开电容器组分断路器，后拉开该母线上各出线断路器；当该母线送电时，则应先合上各出线断路器，后台上电容器组分断路器，且值班员可按电压曲线及异常情况（如超限运行时）拉、合电容器分路断路器，并及时汇报调度。

6）电容器总断路器若带电容器组拉开后，一般应间隔 15min 后才允许再次合闸，分断路器拉开后则应间隔 5min 后才能再次合闸操作。

7）电容器停用后应经充分放电后才能验电，装设接地线。其放电时间不得少于 5min，若有单台熔丝熔断的电容器，应进行个别放电。

8）当系统发生单相接地时，不准带电检查该系统上的电容器组。

9）电容器在运行时，三相不平衡电流不宜超过额定电流的 5%。

10）运行中的电容器如发现熔丝熔断，应查明原因，经鉴定试验合格（如介质损耗、测绝缘电阻、测电容量或者热稳定试验），更换熔丝后，才能继续送电。

三、电容器的巡视检查

1）检查电容器应在额定电压和额定电流下运行，三相电流表指示值应平衡。

2）检查电容器套管及本体无渗漏油现象，内部应无异声。

3）套管及支持绝缘子应无裂纹及放电痕迹。

4）各连接头及母线应无松动和过热变色现象；示温片应无熔化脱落；电容器室内应通风良好，环境温度不超过 40℃。

5）电容器外壳应无变形及膨胀现象。

6）单台保护熔丝应为完好，无熔断现象。

7）放电电压互感器及其三相指示灯应亮。

8）电容器的保护装置应全部投入运行。

9）电容器外壳接地应完好。

10）检查电容器的断路器、互感器、电抗器等应无异常。

四、电容器异常故障处理

1. 电容器渗漏油

电容器是全密封装置，密封不严，则空气、水分和杂质都可能侵入油箱内部，其危害极大。因此，电容器是不允许渗漏油的。

当电容器发生渗漏油时，应减轻负载或降低周围环境温度，但不宜长期运行。若运行时间过长，如外界空气和潮气将渗入电容器内部使绝缘性能降低，将使电容器绝缘介质击穿。值班人员发现电容器严重漏油时，应汇报上级并停用、检查处理。

2. 电容器外壳膨胀

电容器油箱随温度变化膨胀和收缩是正常现象。但是，当内部发生局部放电，绝缘油将产生大量气体，而使箱壁塑性变形明显，造成电容器的局部放电，主要是运行电压过高或断路器重燃引起的操作过电压以及电容器本身质量低。另外，造成电容器膨胀是因为周围温度

过40℃，特别是在夏季或负载重时，应采用强力通风以降低电容器温度，如果电容器发生群体变形应及时停用检查。

3. 电容器爆炸

在没有装设内部元件保护的高压电容器组中，当电容器发生极间或极对外壳击穿时，与之并联的电容器组将对之放电，当放电能量散不出去时，电容器可能爆破。爆炸后可能会引起其他设备故障甚至发生火灾。防止爆炸的办法是除加强运行中的巡视检查外，最好安装电容器内部元件保护装置。

4. 电容器的电压过高

电容器在正常运行中，由于电网负载的变化会受到电压过低或过高的作用，当负载大时，则电网电压会降低，此时应投入电容器，以补偿无功的不足。当电网负载小时，则电网时电压升高，如电压超过电容器额定电压1. 1倍时，应将电容器退出运行。另外，电容器操作也可能会引起操作过电压，此时如发现过电压信号报警，应将电容器拉开，查明原因。

5. 电容器过电流

电容器运行中，应维持在额定电流下工作，但由于运行电压的升高和电流电压波形的畸变，会引起电容器的电流过大。当电流增大到额定电流的1. 3倍时，应将电容器退出运行，因为电流过大，将造成电容器的烧坏事故。

6. 电容器温升过高

电容器组的过电压、过负荷、介质老化（介质损耗增加）、电容器冷却条件变差等原因皆可能使温升过高，从而影响使用寿命甚至击穿导致事故。运行中必须严密监视和控制环境温度，或采取冷却措施以控制温度在允许范围内，如控制不住则应停电处理。

7. 电容器瓷绝缘表面闪络

电容器瓷绝缘表面发生闪络的原因是：表面脏污、环境污染、恶劣天气（如雨、雪）和过电压都将产生表面闪络引起电容器损坏或跳闸。对电容器组应定期清扫，对污秽地区采取防护措施。

8. 电容器异常声响

运行中发生异常声响（“滋滋”声或“咕咕”声）则说明内部或外部有局部放电现象，此时应立即停止运行，查找故障电容器。

9. 电容器断路器跳闸后的处理

电容器断路器跳闸不准强行试送，值班人员必须检查保护动作情况。根据保护动作情况进行分析判断，顺序检查电容器断路器、电流互感器、电力电缆、电容器有无爆炸或严重过热鼓肚及喷油，检查接头是否过热或熔化、套管有无放电痕迹。若无以上情况，电容器断路器跳闸是由外部故障造成母线电压波动所致，经检查后方可送电，否则应进一步对保护做全面通电试验，对电流互感器做特性试验。如果仍查不出故障原因，就需要拆开电容器组，逐台进行试验，未查明原因之前不得试送电。

10. 配电所全所停电时电容器的处理

配电所发生全所停电的事故时，或接有电容器的母线失电压时，应先拉开该母线上的电容器断路器，再拉开线路断路器，否则电容器接在母线上，当配电所恢复供电后，母线成为空载运行，故有较高的电压向电容器充电，电容器充电后，向电网输出大量的无功功率，致使母线电压更高。此时，即使将各线路断路器合闸送电，母线电压在一段时间内，仍会很

高。另外，当空载变压器投入运行时，其充电电流的三次谐波电流可能达到电容器额定电流的 2 ~5 倍，持续时间约 1 ~30s，可能引起过电流保护动作。因此，当配电所停电或停用主变压器前应拉开电容器的断路器，以防损坏电容器事故。

当配电所或空载母线恢复送电时，应先合上各线路断路器，再根据母线电压的高低决定是否投入电容器。

11. 电容器停用处理

遇有下列故障之一者，应停用电容器组，并报告有关领导。

1）电容器发生爆炸。

2）接头严重过热或电容器外壳示温片熔化。

3）电容器套管发生破裂并有闪络放电。

4）电容器严重喷油或起火。

5）电容器外壳有明显膨胀，有油质流出或三相电流不平衡超过 5% 以上，以及电容器或电抗器内部有异常声响。

6）当电容器外壳温度超过 55℃，或室温超过 40℃时。

12. 在处理事故时，运行人员需注意以下事项：

1）停电。必须先拉开电容器断路器及隔离开关或取下熔断器。

2）放电。尽管电容器组已内部自行放电，但仍有残余电荷存在，必须人工放电，放电时一定要先将地线接地端接好，而后多次放电直至无火花和声音为止。

3）操作时必须带防护器具（如绝缘手套），应用短路线将两极间连接放电（因为仍可能有极间残余电荷存在）。

第十章　电 力 线 路

第一节　导线和电缆的选择

一、按发热条件选择导线和电缆的截面积

导线和电缆有一定的电阻、电抗，负荷电流流经导线和电缆时，便产生一定的功率损耗，使导线和电缆发热，温度升高。

按允许电流选择导线和电缆，必须能够承受负荷电流长时期通过所引起的温升，一般导线的最高允许温度为 +70℃，导线温度升高时，导线接头处、导线与电器连接处会因发热而氧化，而氧化又会使接触电阻加大，促使进一步发热，形成恶性循环，甚至造成导线烧断，引起事故。对于绝缘导线，导线温度过高可能使绝缘（橡皮、塑料等）损坏。绝缘导线和电缆的允许温度与绝缘材料结构等因素有关，导线、电缆线芯的长期允许工作温度见表 10-1。

表 10-1　导线、电缆线芯的长期允许工作温度

导线、电缆种类	线芯的长期允许工作温度/℃	导线、电缆种类	线芯的长期允许工作温度/℃
聚氯乙烯绝缘电力电缆		交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯	
1kV	65	护套电力电缆	
6kV	65	6～10kV	90
裸铝、铜母线	70	裸铝、铜绞线	70

当线路送电距离较短时，可根据导线允许电流来选择导线截面积，即

$$I_{pe} \geqslant I_L \tag{10-1}$$

式中，I_{pe}为导线允许电流，单位为 A；I_L 为三相线路最大负荷电流，单位为 A。

LJ 型铝绞线的技术参数见表 10-2。

表 10-2　LJ 型铝绞线的技术参数

标称截面积/mm^2	根数×直径/mm	计算截面积/mm^2	外径/mm	直流电阻(不大于)/(Ω/km)	计算拉断力/N	计算质量/(kg/km)	交货长度(不小于)/m	允许电流(气温为 +35℃，导线温度为 +70℃)/A
16	7×1.70	15.89	5.10	1.802	2840	43.5	4000	93
25	7×2.15	25.41	6.45	1.127	4355	69.6	3000	120
35	7×2.50	34.36	7.50	0.8332	5760	94.1	2000	150
50	7×3.00	49.48	9.00	0.5786	7930	135.5	1500	190
70	7×3.60	71.25	10.80	0.4018	10950	195.1	1250	234
95	7×4.16	95.14	12.48	0.3009	14450	260.5	1000	290

（续）

标称截面积/mm^2	根数×直径/mm	计算截面积/mm^2	外径/mm	直流电阻(不大于)/(Ω/km)	计算拉断力/N	计算质量/(kg/km)	交货长度(不小于)/m	允许电流(气温为+35℃,导线温度为+70℃)/A
120	19×2.85	121.21	14.25	0.2373	19420	333.5	1500	330
150	19×3.15	148.07	15.75	0.1943	23310	407.4	1250	388
185	19×3.50	182.80	17.50	0.1574	28440	503.0	1000	450
210	19×3.75	209.85	18.75	0.1371	32260	577.4	1000	584
240	19×4.00	238.76	20.00	0.1205	36260	656.9	1000	634
300	37×3.20	297.57	22.40	0.09689	46850	820.4	1000	731

LGJ 型钢芯铝绞线的技术参数见表 10-3。

表 10-3 LGJ 型钢芯铝绞线的技术参数

型号	股数×单线直径/mm		计算截面积/mm^2			导线外径/mm	直流电阻(温度为+20℃时,不大于)/(Ω/km)	抗张力/N	质量/(kg/km)	制造长度(不小于)/m	允许电流(气温为+35℃,导线温度为+70℃,屋外)/A
	铝线	钢芯	铝线	钢芯	整个导线						
LGJ—10	5×1.60	1×1.20	10.10	1.13	11.23	4.4	3.12	2800	36	2000	—
LGJ—16	6×1.80	1×1.80	15.30	2.50	17.80	5.4	2.04	4450	62	1500	97
LGJ—25	6×2.20	1×2.20	22.80	3.80	26.60	6.9	1.38	6650	92	1500	124
LGJ—35	6×2.80	1×2.80	36.90	6.20	43.10	8.4	0.85	10770	150	1000	150
LGJ—50	6×3.20	1×3.20	48.30	8.00	56.30	9.6	0.65	14100	196	1250	195
LGJ—70	6×3.80	1×3.80	68.00	11.30	79.30	11.4	0.46	19800	275	1200	242
LGJ—95	28×2.08	7×1.80	95.90	17.80	113.70	13.7	0.33	31600	404	1500	295
LGJ—120	28×229	7×2.00	115.00	22.00	137.90	15.2	0.27	38400	492	1500	335
LGJ—150	28×2.59	7×2.20	148.00	26.60	174.60	17.0	0.21	48900	617	1500	393
LGJ—185	28×2.87	7×2.50	181.00	34.40	215.40	19.0	0.17	60300	771	1500	450
LGJ—240	28×3.29	7×2.78	238.00	43.10	281.1	21.6	0.13	69900	997	1500	540

铝绞线温度校正系数 K 见表 10-4。

表 10-4 铝绞线温度校正系数 K

周围气温/℃	5	15	25	35	40	45	50	55
温度校正系数 K	1.36	1.25	1.13	1.00	0.93	0.85	0.76	0.66

二、按经济电流密度选择导线的截面积

经济电流密度是既考虑线路运行时的电能损耗，又考虑线路建设投资等多方面经济效益，而确定导线截面的电流密度。按经济电流密度选择导线截面积的方法，一般只用于 10kV 线路、母线和特大电流的低压线路。

经济电流密度选择导线截面积可按式（10-2）计算，即

$$S = \frac{I_L}{j} \tag{10-2}$$

式中，S 为导线截面积，单位为 mm²；I_L 为线路最大负荷电流，单位为 A；j 为经济电流密度，单位为 A/mm²。

导线的经济电流密度见表 10-5，各类负荷的年最大负荷利用小时数见表 10-6。

表 10-5　导线的经济电流密度　　（单位：A/mm²）

线路类别	导线材料	年最大负荷利用小时数		
		<3000h	3000～5000h	>5000h
架空线路	铝	1.65	1.15	0.90
	铜	3.00	2.25	1.75

表 10-6　各类负荷的年最大负荷利用小时数

负荷类型	户内照明及生活用电	单班制企业用电	两班制企业用电	三班制企业用电	农业用电
年最大负荷利用小时数 t/h	2000～3000	1500～2200	3000～4500	6000～7000	2500～3000

三、按允许电压损失选择导线和电缆的截面积

线路导线有电阻和电感，当电流通过线路时，必将产生电压降。导线上引起的电压降必须限制在一定的数值内，以确保用户的电压保持在允许的水平上。因此，必须按允许电压的条件来选择导线和电缆截面积。

配电线路阻抗等效值如图 10-1 所示。

根据图 10-1 可得配电线路的相电压相量如图 10-2 所示。

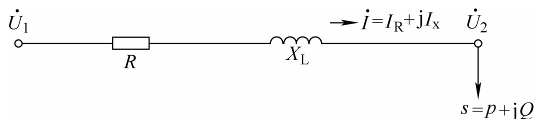


图 10-1　配电线路阻抗等效值

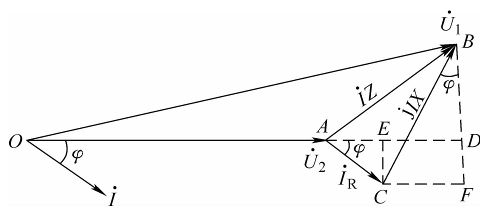


图 10-2　配电线路相电压相量

配电线路相电压损失为

$$AE = AC\cos\varphi = IR\cos\varphi \times 10^{-3}$$

$$ED = CF = IX\sin\varphi \times 10^{-3}$$

$$\Delta U_{ph} = AE + ED = IR\cos\varphi \times 10^{-3} + IX\sin\varphi \times 10^{-3}$$

配电线路线电压损失为

$$\begin{aligned}\Delta U_C &= \sqrt{3}\Delta U_{ph} = \sqrt{3}IR\cos\varphi \times 10^{-3} + \sqrt{3}IX\sin\varphi \times 10^{-3} \\ &= \sqrt{3}IR_{oL}L\cos\varphi \times 10^{-3} + \sqrt{3}IX_{oL}L\sin\varphi \times 10^{-3}\end{aligned} \tag{10-3}$$

由于

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U_N\cos\varphi} = \frac{Q}{\sqrt{3}U_N\sin\varphi} \tag{10-4}$$

将式（10-4）代入式（10-3）得

$$\Delta U_{\mathrm{L}}=\frac{PR_{\mathrm{oL}}L+QX_{\mathrm{oL}}L}{U_{\mathrm{N}}}\times10^{-3}=\frac{PR_{\mathrm{oL}}L+P\tan\varphi X_{\mathrm{oL}}L}{U_{\mathrm{N}}}\times10^{-3}$$

$$=\frac{R_{\mathrm{oL}}+X_{\mathrm{oL}}\tan\varphi}{U_{\mathrm{N}}}PL\times10^{-3}\tag{10-5}$$

三相架空线路电压损失百分数按式（10-6）计算，即

$$\Delta U\%=\frac{R_{\mathrm{oL}}+X_{\mathrm{oL}}\tan\varphi}{10U_{\mathrm{N}}^{2}}\%PL=\Delta U_{\mathrm{o}}\%PL=\Delta U_{\mathrm{o}}\%M\tag{10-6}$$

式中，$\Delta U\%$为三相架空线路电压损失百分数；R_{oL}、X_{oL}为线路单位长度的电阻和电抗，单位为 Ω/km；U_{N} 为线路额定电压，单位为 kV；$\tan\varphi$ 为功率因数角的正切值；P 为线路输送功率，单位为 kW；L 为线路长度，单位为 km；M 为负荷矩，单位为 kW · km；$\Delta U_{\mathrm{o}}\%$ 为线路每 kW · km 负荷矩时的电压损失百分数。

线路单位负荷矩时的电压损失百分数可按式（10-7）计算，即

$$\Delta U_{\mathrm{o}}\%=\frac{(R_{\mathrm{oL}}+X_{\mathrm{oL}}\tan\varphi)}{10U_{\mathrm{N}}^{2}}\%\tag{10-7}$$

【例 10-1】 一条 400V 低压线路，选用 LJ-185 型铝绞线，线路单位长度电阻 $R_{\mathrm{oL}}=0.1574\Omega/\mathrm{km}$，电抗 $X_{\mathrm{oL}}=0.32\Omega/\mathrm{km}$，功率因数 $\cos\varphi=0.9$ 时，试计算该线路单位负荷矩时的电压损失百分数。

解： 线路单位负荷矩时的电压损失百分数按式（10-7）计算，得

$$\Delta U_{\mathrm{o}}\%=\frac{R_{\mathrm{oL}}+X_{\mathrm{oL}}\tan\varphi}{10U_{\mathrm{N}}^{2}}\%=\frac{0.1574+0.32\times0.48}{10\times0.4^{2}}\%/(\mathrm{kW\cdot km})=0.1944\%/(\mathrm{kW\cdot km})$$

按照上述方法，400V 三相架空线路单位负荷矩时的电压损失百分数见表 10-7。

表 10-7　400V 三相架空线路采用铝绞线单位负荷矩时的电压损失百分数

［单位:%/（kW · km）］

铝绞线型号	功率因数(cosφ)			
	0.80	0.85	0.90	0.95
LJ-16	1.2763	1.2503	1.2223	1.1923
LJ-25	0.8544	0.8284	0.8004	0.7704
LJ-35	0.6708	0.6448	0.6168	0.5868
LJ-50	0.5116	0.4856	0.4576	0.4276
LJ-70	0.4011	0.3751	0.3471	0.3171
LJ-95	0.3381	0.3121	0.2841	0.2541
LJ-120	0.2983	0.2723	0.2443	0.2143
LJ-150	0.2714	0.2454	0.2174	0.1874
LJ-185	0.2484	0.2224	0.1944	0.1644
LJ-210	0.2357	0.2097	0.1817	0.1517
LJ-240	0.2253	0.1993	0.1713	0.1413
LJ-300	0.2106	0.1846	0.1566	0.1266

10kV 架空线路采用铝绞线单位负荷矩时的电压损失百分数见表 10-8。

表 10-8　10kV 架空线路采用铝绞线单位负荷矩时的电压损失百分数

[单位:%/（kW·km）]

铝绞线型号	功率因数(cosφ)			
	0.80	0.85	0.90	0.95
LJ-16	2.102×10^{-3}	2.050×10^{-3}	1.994×10^{-3}	1.934×10^{-3}
LJ-25	1.427×10^{-3}	1.375×10^{-3}	1.319×10^{-3}	1.259×10^{-3}
LJ-35	1.1332×10^{-3}	1.0812×10^{-3}	1.0252×10^{-3}	0.9652×10^{-3}
LJ-50	0.8786×10^{-3}	0.8266×10^{-3}	0.7706×10^{-3}	0.6106×10^{-3}
LJ-70	0.7018×10^{-3}	0.6498×10^{-3}	0.5938×10^{-3}	0.5338×10^{-3}
LJ-95	0.6009×10^{-3}	0.5489×10^{-3}	0.4929×10^{-3}	0.4329×10^{-3}
LJ-120	0.5373×10^{-3}	0.4853×10^{-3}	0.4293×10^{-3}	0.3693×10^{-3}
LJ-150	0.4943×10^{-3}	0.4423×10^{-3}	0.3863×10^{-3}	0.3263×10^{-3}
LJ-185	0.4574×10^{-3}	0.4054×10^{-3}	0.3494×10^{-3}	0.2894×10^{-3}
LJ-210	0.4371×10^{-3}	0.3851×10^{-3}	0.3291×10^{-3}	0.2691×10^{-3}
LJ-240	0.4205×10^{-3}	0.3685×10^{-3}	0.3125×10^{-3}	0.2525×10^{-3}
LJ-300	0.3969×10^{-3}	0.3449×10^{-3}	0.2889×10^{-3}	0.2289×10^{-3}

10kV 架空线路采用钢芯铝绞线单位负荷矩时的电压损失百分数见表 10-9。

表 10-9　10kV 架空线路采用钢芯铝绞线单位负荷矩时的电压损失百分数

[单位:%/（kW·km）]

钢芯铝绞线型号	功率因数(cosφ)			
	0.80	0.85	0.90	0.95
LGJ-16	2.441×10^{-3}	2.389×10^{-3}	2.333×10^{-3}	2.273×10^{-3}
LGJ-25	1.671×10^{-3}	1.619×10^{-3}	1.563×10^{-3}	1.503×10^{-3}
LGJ-35	1.279×10^{-3}	1.227×10^{-3}	1.171×10^{-3}	1.111×10^{-3}
LGJ-50	0.985×10^{-3}	0.933×10^{-3}	0.877×10^{-3}	0.817×10^{-3}
LGJ-70	0.789×10^{-3}	0.737×10^{-3}	0.681×10^{-3}	0.621×10^{-3}
LGJ-95	0.661×10^{-3}	0.609×10^{-3}	0.553×10^{-3}	0.493×10^{-3}
LGJ-120	0.586×10^{-3}	0.534×10^{-3}	0.478×10^{-3}	0.418×10^{-3}
LGJ-150	0.528×10^{-3}	0.476×10^{-3}	0.420×10^{-3}	0.360×10^{-3}
LGJ-185	0.485×10^{-3}	0.433×10^{-3}	0.377×10^{-3}	0.317×10^{-3}
LGJ-240	0.443×10^{-3}	0.391×10^{-3}	0.335×10^{-3}	0.275×10^{-3}
LGJ-300	0.414×10^{-3}	0.362×10^{-3}	0.306×10^{-3}	0.246×10^{-3}

线路电压损失百分数应小于或等于允许电压损失百分数，即

$$\Delta U\% = PL\Delta U_o\% \leqslant \Delta U_{pe}\% \quad (10\text{-}8)$$

式中，$\Delta U_{pe}\%$为允许电压损失百分数。

为保证用户的电压质量，规定了受电端的用户电压的允许偏差，10kV 及以下三相供电的，允许电压偏差幅度为额定值的 ±7%；220V 单相供电的，允许电压偏差为额定值的 +7%、-10%。

电缆与架空线路允许电压偏差的规定相同。

【例 10-2】 有 1 条 10kV 架空线路，采用 LGJ-□型钢芯铝绞线，线路计算负荷 P_L = 1530kW，功率因数 $\cos\varphi = 0.9$，线路长度 $L = 8$km，试选择导线截面积。

解： 1. 线路负荷电流的计算

线路负荷电流按式（1-27）计算，得

$$I_L = \frac{P_L}{\sqrt{3}U_N\cos\varphi} = \frac{1530}{\sqrt{3}\times 10\times 0.9}\text{A} = 98\text{A}$$

2. 按导线发热条件选择导线截面积

查表 10-3 得 LGJ-95 型钢芯铝绞线的长期允许电流 $I_{pe} = 295$A，大于该线路计算负荷电流 $I_L = 98$A，故选择 LGJ-95 型钢芯铝绞线能满足发热条件的要求。

3. 校验电压损失

查表 1-7 得 LGJ-95 型钢芯铝绞线单位长度电阻 $R_{oL} = 0.361\Omega/\text{km}$，查表 1-10 得 10kV 架空线路单位长度电抗 $X_{oL} = 0.4\Omega/\text{km}$，功率因数 $\cos\varphi = 0.9$ 时，$\tan\varphi = 0.48$，电压损失百分数按式（10-6）计算，得

$$\Delta U\% = \frac{R_{oL} + X_{oL}\tan\varphi}{10U_N^2}\% PL = \left(\frac{0.361 + 0.4\times 0.48}{10\times 10^2}\times 1530\times 8\right)\% = 6.8\%$$

该值小于 10kV 架空线路允许电压损失百分数 $\Delta U_{pe}\% = 7\%$，故选择的 LGJ-95 型钢芯铝绞线能满足电压损失的要求。

【例 10-3】 1 条 400V 电力电缆线路，选用三芯铜导体电缆，截面积为 25mm²，长度为 1km，输送功率为 1kW，平均功率因数 $\cos\varphi = 0.8$，试计算该电缆单位负荷矩时的电压损失百分数。

解： 查表 1-8 得该电缆单位长度电阻 $R_{oL} = 0.911\Omega/\text{km}$，查表 1-10 得该电缆单位长度电抗 $X_{oL} = 0.066\Omega/\text{km}$。

电缆线路单位负荷矩时的电压损失百分数按式（10-7）计算，得

$$\Delta U_o\% = \frac{R_{oL} + X_{oL}\tan\varphi}{10U_N^2}\% = \frac{0.911 + 0.066\times 0.75}{10\times 0.4^2}\% \approx 0.6\%$$

低压电力电缆线路，电压为 0.4kV，供电负荷平均功率因数 $\cos\varphi = 0.8$，按照上述计算方法，1kW 功率通过 1km 三相电缆线路时，造成的单位负荷矩电压损失百分数见表 10-10。

表 10-10　0.4kV 三相电缆线路单位负荷矩时的电压损失百分数

截面积/mm^2	电缆单位负荷矩时的电压损失/[%/(kW·km)]，功率因数 $\cos\varphi=0.8$，$t=90℃$		截面积/mm^2	电缆单位负荷矩时的电压损失/[%/(kW·km)]，功率因数 $\cos\varphi=0.8$，$t=90℃$	
	铜	铝		铜	铝
25	0.6	0.944	185	0.105	0.152
35	0.435	0.682	240	0.0874	0.124
50	0.313	0.486	300	0.0756	0.104
70	0.231	0.355	400	0.0638	0.0854
95	0.178	0.269	500	0.0566	0.0739
120	0.147	0.219	630	0.0507	0.0644
150	0.123	0.181			

四、按机械强度选择导线的最小允许截面积

架空导线在运行中除了受自身重量的载荷外，还承受温度变化及冰、风等外载荷。这些载荷可能使导线承受的拉力大大增加，甚至造成断线事故。为了保证安全，使导线有一定的抗拉强度，在大风、覆冰或低温等不利气象条件下，不致发生断线事故，因此需要规定各种情况下架空线路最小允许截面积。按机械强度要求，选择导线的截面积不得小于表 10-11 规定的值。

表 10-11　导线的最小截面积　（单位：mm^2）

导线种类	3～10kV 线路		0.4kV 线路	接户线
	居民区	非居民区		
铝绞线及铝合金线	35	25	16	绝缘线 6.0
钢芯铝绞线	25	16	16	
铜线	16	16	直径 3.2mm	绝缘铜线 4.0

五、电缆额定电压的选择

选择电缆的额定电压应适合于电缆使用系统的运行状况，用 $U_0/U(U_m)$kV 表示。U_0 为电缆设计用的导体与屏蔽或金属套之间的额定工频电压；U 为电缆设计用的导体之间的额定工频电压；U_m 为电缆可承受的“最高系统电压”的最大值。

三相电力系统电缆电压见表 10-12。

表 10-12　三相电力系统电缆电压

U/kV	U_m/kV	U_0/kV	
		第一类电缆	第二类电缆
1	—	0.6	0.6
3	3.6	1.8	3.6
6	7.2	3.6	6

（续）

U/kV	U_m/kV	U_0/kV	
		第一类电缆	第二类电缆
10	12	6	8.7
15	17.5	8.7	12
20	24	12	18

注：第一类电缆——用于单相接地故障时间每一次一般不大于1min，也可用于最长不超过8h，每年累计不超过125h的系统。

第二类电缆——用于接地故障时间更长的系统及对电缆绝缘性能要求较高的场合。

第二节　架空绝缘电缆

一、概述

架空绝缘电缆是在紧压的铜、铝导体外挤制内屏蔽层和耐气候型交联聚乙烯或耐气候型黑色高密度聚乙烯或耐气候型聚氯乙烯绝缘层和外屏蔽层（1kV架空绝缘电缆没有内外屏蔽层）而制得的，结构简单、安全可靠，同时又具有优良的力学物理性能和电气性能，耐电痕化指数、耐沿面放电、耐大气性能优良，与裸电线相比，敷设间隙小，节约线路走廊，线路电压降减小，尤其是减少供电事故发生，确保人身安全。适用于高层建筑群、旅游开发区及树木多丛地区的0.4kV、10kV架空输配电线路。

二、使用特性

1）电缆额定电压 U_0/U，即0.6/1kV、8.7/10kV。

2）电缆导体的长期允许工作温度：聚氯乙烯（PVC）绝缘为70℃；聚乙烯（PE）绝缘为70℃；高密度聚乙烯（HDPE）绝缘为75℃；交联聚乙烯（XLPE）绝缘为90℃。

3）短路时（最长持续时间不超过5s），电缆的最高温度：聚氯乙烯（PVC）绝缘为160℃；聚乙烯（PE）绝缘为130℃；高密度聚乙烯（HDPE）绝缘为150℃；交联聚乙烯（XLPE）绝缘为250℃。

4）电缆的敷设温度应不低于-20℃。

5）电缆使用的环境温度为-40～+40℃，雨季相对湿度不小于90%。

6）电缆的允许弯曲半径：

①额定电压0.6/1kV及以下电缆：

a. 电缆外径 $D<25$mm，弯曲半径不小于 $4D$；

b. 电缆外径 $D\geqslant25$mm，弯曲半径不小于 $6D$。

②额定电压10kV、35kV电缆：

a. 单芯电缆：$20(D+d)$；误差为±5%；

b. 多芯电缆：$15(D+d)$；误差为±5%。

式中，D 为电缆的实际外径，单位为mm；d 为电缆导体的实际外径，单位为mm。

三、电缆型号规格

架空绝缘电缆的型号、名称及主要用途见表10-13。

表 10-13　架空绝缘电缆的型号、名称及主要用途

额定电压/kV	型号	名　称	主要用途
0.6/1	JKV	额定电压 0.6/1kV 铜芯聚氯乙烯绝缘架空电缆	架空固定敷设引户线等
	JKLV	额定电压 0.6/1kV 铝芯聚氯乙烯绝缘架空电缆	
	JKY	额定电压 0.6/1kV 铜芯聚乙烯绝缘架空电缆	
	JKLY	额定电压 0.6/1kV 铝芯聚乙烯绝缘架空电缆	
	JKYJ	额定电压 0.6/1kV 铜芯交联聚乙烯绝缘架空电缆	
	JKLYJ	额定电压 0.6/1kV 铝芯交联聚乙烯绝缘架空电缆	
10	JKLYJ/Q	铝芯轻型交联聚乙烯薄绝缘架空电缆	架空固定敷设电缆架设时，应考虑电缆和树木保持一定距离，电缆运行时允许电缆和树木短时接触
	JKLY/Q	铝芯轻型聚乙烯薄绝缘架空电缆	
	JKLGYJ/Q	带钢芯承载的铝芯轻型交联聚乙烯等绝缘架空电缆	
10	JKYJ	铜芯交联聚乙烯绝缘架空电缆	架空固定敷设电缆架设时，应考虑电缆和树木保持一定距离，电缆运行时允许电缆和树木频繁接触
	JKLYJ	铝芯交联聚乙烯绝缘架空电缆	
	JKY	铜芯聚乙烯绝缘架空电缆	
	JKLY	铝芯聚乙烯绝缘架空电缆	

四、技术参数

0.6/1kV 架空绝缘电缆的技术参数见表 10-14～表 10-17。

表 10-14　0.6/1kV 单芯交联聚乙烯绝缘架空电缆的技术参数

导体标称截面积/mm^2	绝缘厚度/mm	电缆最大外径/mm	电缆近似重量/(kg/km)		20℃导体最大直流电阻/(Ω/km)		电缆最小拉断力/N		空气中电缆载流量/A	
			铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
10	1.0	6.5	103	42	1.906	3.08	3471	1650	63	50
16	1.2	8.0	178	80	1.198	1.91	5486	2512	84	67
25	1.2	9.4	266	112	0.749	1.20	8465	3762	107	88
35	1.4	11.0	366	150	0.540	0.868	11731	5177	134	108
50	1.4	12.3	510	200	0.399	0.641	16502	7011	172	136
70	1.4	14.1	697	264	0.276	0.443	23461	10354	207	168
95	1.6	16.5	945	358	0.199	0.320	31759	13727	257	208
120	1.6	18.1	1175	435	0.158	0.253	39911	17339	295	240
150	1.8	20.2	1470	512	0.128	0.206	49505	21033	360	276
185	2.0	22.5	1813	590	0.1021	0.164	61846	26732	412	320
240	2.0	25.6	2343	668	0.0777	0.125	79823	34679	496	384

表 10-15　0.6/1kV 两芯交联聚乙烯绝缘架空电缆的技术参数

导体标称截面积/mm²	绝缘厚度/mm	电缆最大外径/mm	电缆近似重量/(kg/km)		20℃导体最大直流电阻/(Ω/km)		电缆最小拉断力/N		空气中的电缆载流量/A	
			铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
10	1.0	13.0	232	108	1.906	3.08	6594	3135	53	40
16	1.2	16.0	357	159	1.198	1.91	10423	4782	72	56
25	1.2	18.8	534	223	0.749	1.20	16083	7147	96	73
35	1.4	22.0	734	299	0.540	0.868	22288	9836	112	88
50	1.4	24.6	1021	400	0.399	0.641	31353	13320	144	112
70	1.4	28.2	1396	528	0.276	0.443	44575	19672	176	136
95	1.6	33.0	1894	715	0.199	0.320	60342	26081	216	168
120	1.6	36.2	2360	870	0.158	0.253	75830	32944	252	196

表 10-16　0.6/1kV 三芯交联聚乙烯绝缘架空电缆的技术参数

导体标称截面积/mm²	绝缘厚度/mm	电缆最大外径/mm	电缆近似重量/(kg/km)		20℃导体最大直流电阻/(Ω/km)		电缆最小拉断力/N		空气中的电缆载流量/A	
			铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
10	1.0	14.0	348	162	1.906	3.08	9397	4702	50	38
16	1.2	17.2	534	240	1.198	1.91	15583	7173	67	54
25	1.2	20.2	798	336	0.749	1.20	24125	10721	86	70
35	1.4	23.7	1098	450	0.540	0.868	33433	14754	107	86
50	1.4	26.5	1530	600	0.399	0.641	45748	19981	138	109
70	1.4	30.4	2091	792	0.276	0.443	66863	29508	166	134
95	1.6	35.5	2835	1074	0.199	0.320	90513	39121	206	166
120	1.6	39.0	3525	1305	0.158	0.253	113746	49416	236	192

表 10-17　0.6/1kV 四芯交联聚乙烯绝缘架空电缆的技术参数

导体标称截面积/mm²	绝缘厚度/mm	电缆最大外径/mm	电缆近似重量/(kg/km)		20℃导体最大直流电阻/(Ω/km)		电缆最小拉断力/N		空气中的电缆载流量/A	
			铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
10	1.0	15.7	464	216	1.906	3.08	13189	6270	42	32
16	1.2	19.3	712	320	1.198	1.91	17426	9564	59	47
25	1.2	22.7	1064	448	0.749	1.20	32167	14295	75	62
35	1.4	26.6	1464	600	0.540	0.868	44577	19672	94	77

（续）

导体标称截面积/mm²	绝缘厚度/mm	电缆最大外径/mm	电缆近似重量/(kg/km)		20℃导体最大直流电阻/(Ω/km)		电缆最小拉断力/N		空气中的电缆载流量/A	
			铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
50	1.4	29.7	2040	800	0.399	0.641	62707	26641	121	95
70	1.4	34.0	2788	1056	0.276	0.443	89151	39345	207	118
95	1.6	39.8	3780	1432	0.199	0.320	120684	52151	180	146
120	1.6	43.7	4700	1740	0.158	0.253	151661	65888	207	168

10kV 架空绝缘电缆的技术参数见表 10-18 和表 10-19。

表 10-18　10kV 单芯交联聚乙烯绝缘（普通绝缘）架空电缆的技术参数

导体标称截面积/mm²	绝缘厚度/mm	电缆最大外径/mm	电缆近似重量/(kg/km)		20℃导体最大直流电阻/(Ω/km)		电缆最小拉断力/N		空气中的电缆载流量/A	
			铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
10	3.4	11.6	70	45	1.830	3.08	3471	1650	72	56
16	3.4	12.6	180	100	1.150	1.91	5486	2517	112	87
25	3.4	15.8	300	160	0.749	1.20	8465	3762	152	118
35	3.4	16.8	450	230	0.540	0.868	11731	5177	192	149
50	3.4	18.1	600	300	0.399	0.641	16502	7011	232	180
70	3.4	19.8	800	370	0.276	0.443	23461	10354	291	226
95	3.4	21.6	1010	460	0.199	0.320	31759	13727	357	276
120	3.4	23.0	1290	550	0.158	0.253	39911	17339	413	320
150	3.4	24.0	1580	650	0.128	0.206	49505	21033	473	366
185	3.4	26.2	1920	770	0.1021	0.164	61846	26732	545	423
240	3.4	28.4	2440	950	0.0777	0.125	79823	34679	647	503
300	3.4	30.6	2960	1130	0.0619	0.100	99788	43349	749	538

表 10-19　10kV 三芯交联聚乙烯绝缘（普通绝缘）架空电缆的技术参数

导体标称截面积/mm²	绝缘厚度/mm	电缆最大外径/mm	电缆近似重量/(kg/km)		20℃导体最大直流电阻/(Ω/km)		电缆最小拉断力/N		空气中的电缆载流量/A	
			铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
25	3.4	31.6	600	320	0.749	1.200	24125	10721	122	95

（续）

导体标称截面积/mm^2	绝缘厚度/mm	电缆最大外径/mm	电缆近似重量/(kg/km)		20℃导体最大直流电阻/(Ω/km)		电缆最小拉断力/N		空气中的电缆载流量/A	
			铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
35	3.4	33.6	900	460	0.540	0.868	33433	14754	154	119
50	3.4	36.2	1200	600	0.399	0.641	47030	19981	186	144
70	3.4	39.6	1600	740	0.276	0.443	66863	29508	233	181
95	3.4	43.2	2020	920	0.199	0.320	90513	39121	286	221
120	3.4	46.0	2580	1100	0.158	0.253	113746	49416	330	256
150	3.4	48.0	3160	1300	0.128	0.206	141089	59944	378	293
185	3.4	52.4	3840	1540	0.1021	0.164	176261	76186	436	338
240	3.4	56.8	4880	1900	0.0777	0.125	227495	98835	517	402
300	3.4	61.2	5920	2260	0.0619	0.100	284395	123544	599	466

第三节 交联聚乙烯绝缘电缆

一、概述

交联聚乙烯绝缘电缆采用化学方法或物理方法，使聚乙烯分子由线型结构转变成三维网状结构，即把热塑性的聚乙烯转变为热固性的交联聚乙烯，从而大幅度地提高了它的力学性能、热老化性能和耐环境应力能力，以及具有优良的电气性能。

交联聚乙烯绝缘电缆导体的正常运行温度为90℃，具有结构简单、外径小、重量轻、使用方便、不受敷设落差限制等特点。交联聚乙烯绝缘电缆是城乡10kV及以下配电网络中的首选产品。

二、电缆的型号及使用范围

交联聚乙烯绝缘电缆的型号、名称及使用范围见表10-20。

表10-20 交联聚乙烯绝缘电缆的型号、名称及使用范围

型号		名称	使用范围
铜	铝		
(ZR-)YJV	(ZR-)YJLV	铜芯或铝芯交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套(阻燃)电力电缆	敷设在室内外,可经受一定的敷设牵引,但不能承受机械外力作用的场合,单芯电缆不允许敷设在磁性管道中
(ZR-)YJV22	(ZR-)YJLV22	铜芯或铝芯交联聚乙烯绝缘钢带铠装聚氯乙烯护套(阻燃)电力电缆	适用于直埋敷设,能承受机械外力作用,但不能承受大的拉力

电缆产品用其型号和规格表示方法，在型号后再加上说明芯数和截面积、额定电压、长度的数字。如 ZR-YJLV22-3×120-10-300 表示铝芯、交联聚乙烯绝缘、聚氯乙烯护套，双钢带铠装 3 芯 $120mm^2$，电压为 10kV，长度为 300m 的阻燃型电力电缆。

三、技术参数

0.6/1kV(ZR-)YJV、(ZR-)YJLV 系列单芯交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套（阻燃）电力电缆的技术参数见表 10-21，三芯交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套（阻燃）电力电缆的技术参数见表 10-22。（ZR-）YJV22、（ZR-）YJLV22 系列三芯交联聚乙烯绝缘钢带铠装聚氯乙烯护套（阻燃）电力电缆的技术参数见表 10-23。

表 10-21　0.6/1kV（ZR-）YJV、（ZR-）YJLV 系列单芯交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套（阻燃）电力电缆的技术参数

导体标称截面积/mm^2	电缆计算外径/mm	电缆计算重量/(kg/km)		20℃时导体直流电阻/(Ω/km)		试验电压 5min/kV	90°时绝缘电阻/MΩ·km	电缆参考载流量/A			
								空气中		直埋土壤中	
		铜	铝	铜	铝			铜	铝	铜	铝
1.5	5.7	45	—	≤12.1	—	3.5	≥1.116	32	—	45	—
2.5	6.1	57	41	≤7.41	≤12.1	3.5	≥0.925	42	33	59	46
4	6.6	74	50	≤4.61	≤7.41	3.5	≥0.771	56	44	77	61
6	7.1	96	59	≤3.08	≤4.61	3.5	≥0.654	70	57	97	79
10	8.4	146	83	≤1.83	≤3.08	3.5	≥0.473	97	75	130	100
16	9.4	208	109	≤1.15	≤1.91	3.5	≥0.387	125	99	170	135
25	10.7	303	149	≤0.727	≤1.20	3.5	≥0.418	165	125	220	170
35	11.8	403	187	≤0.524	≤0.868	3.5	≥0.360	200	155	265	205
50	13.3	549	239	≤0.387	≤0.641	3.5	≥0.340	245	190	320	245
70	15.2	747	314	≤0.268	≤0.443	3.5	≥0.317	305	240	395	305
95	17.1	993	405	≤0.193	≤0.320	3.5	≥0.275	375	290	475	370
120	18.7	1236	493	≤0.153	≤0.253	3.5	≥0.268	435	340	545	420
150	20.8	1541	613	≤0.124	≤0.206	3.5	≥0.287	500	390	610	475
185	23.0	1897	751	≤0.0991	≤0.164	3.5	≥0.287	580	450	695	540
240	25.6	2433	948	≤0.0754	≤0.125	3.5	≥0.270	685	535	810	630
300	27.8	2993	1137	≤0.0601	≤0.100	3.5	≥0.257	795	615	910	710
400	31.4	3984	1508	≤0.0470	≤0.0778	3.5	≥0.250	930	730	1050	820
500	35.0	4924	1829	≤0.0366	≤0.0605	3.5	≥0.244	1080	850	1190	940
630	39.7	6200	2300	≤0.0283	≤0.0469	3.5	≥0.234	1250	1000	1350	1080

表 10-22 0.6/1kV（ZR-）YJV、（ZR-）YJLV 系列三芯交联聚乙烯绝缘聚氯乙烯护套（阻燃）电力电缆的技术参数

导体总数×标称截面积/mm²	电缆计算外径/mm	电缆计算重量/（kg/km）		20℃时导体直流电阻/（Ω/km）		试验电压 5min/kV	90°时绝缘电阻/MΩ·km	电缆参考载流量/A			
								空气中		直埋土壤中	
		铜	铝	铜	铝			铜	铝	铜	铝
3×1.5	10.4	141	—	≤12.1	—	3.5	≥1.116	20	—	27	—
3×2.5	11.3	186	139	≤7.41	≤12.1	3.5	≥0.925	26	20	35	27
3×4	12.3	231	157	≤4.61	≤7.41	3.5	≥0.771	34	27	45	36
3×6	13.4	303	192	≤3.08	≤4.61	3.5	≥0.654	43	35	57	46
3×10	16.8	480	293	≤1.83	≤3.08	3.5	≥0.473	60	47	77	59
3×16	19.0	671	374	≤1.15	≤1.91	3.5	≥0.387	83	64	105	80
3×25	21.9	971	506	≤0.727	≤1.20	3.5	≥0.418	105	82	125	100
3×35	24.3	1270	619	≤0.524	≤0.868	3.5	≥0.360	125	100	155	120
3×50	23.4	1664	734	≤0.387	≤0.641	3.5	≥0.340	160	125	185	145
3×70	26.5	2269	968	≤0.268	≤0.443	3.5	≥0.317	200	155	225	175
3×95	29.5	3006	1240	≤0.193	≤0.320	3.5	≥0.275	245	200	270	210
3×120	32.5	3750	1519	≤0.153	≤0.253	3.5	≥0.268	285	220	310	240
3×150	37.11	4699	1911	≤0.124	≤0.206	3.5	≥0.287	325	250	345	270
3×185	41.6	5767	2328	≤0.0991	≤0.164	3.5	≥0.287	375	295	390	305
3×240	42.3	6697	2542	≤0.0754	≤0.125	3.5	≥0.270	440	345	450	355
3×300	49.2	8371	3131	≤0.0601	≤0.100	3.5	≥0.257	505	395	515	400

表 10-23 0.6/1kV（ZR-）YJV22、（ZR-）YJLV22 系列三芯交联聚乙烯绝缘钢带铠装聚氯乙烯护套（阻燃）电力电缆的技术参数

导体总数×标称截面积/mm²	电缆计算外径/mm	电缆计算质量/（kg/km）		20℃时导体直流电阻/（Ω/km）		试验电压 5min/kV	90°时绝缘电阻/MΩ·km	电缆参考载流量/A			
								空气中		直埋土壤中	
		铜	铝	铜	铝			铜	铝	铜	铝
3×4	15.9	432	358	≤4.61	≤7.41	3.5	≥0.771	34	27	45	36
3×6	17.0	516	405	≤3.08	≤4.61	3.5	≥0.654	43	35	57	46
3×10	20.4	766	578	≤1.83	≤3.08	3.5	≥0.473	60	47	77	59
3×16	22.6	973	676	≤1.15	≤1.91	3.5	≥0.387	83	64	105	80
3×25	25.5	1313	848	≤0.727	≤1.20	3.5	≥0.418	105	82	125	100
3×35	27.9	1662	1011	≤0.524	≤0.868	3.5	≥0.360	125	100	155	120
3×50	27.0	2038	1108	≤0.387	≤0.641	3.5	≥0.340	160	125	185	145
3×70	31.1	2914	1612	≤0.268	≤0.443	3.5	≥0.317	200	155	225	175
3×95	34.1	3706	1940	≤0.193	≤0.320	3.5	≥0.275	245	200	270	210
3×120	37.3	4514	2283	≤0.153	≤0.253	3.5	≥0.268	285	220	310	240
3×150	41.7	5552	2764	≤0.124	≤0.206	3.5	≥0.280	325	250	345	270
3×185	46.4	6735	3296	≤0.0991	≤0.164	3.5	≥0.287	375	295	390	305
3×240	49.9	7838	3682	≤0.0754	≤0.125	3.5	≥0.270	440	345	450	355
3×300	54.6	9650	4410	≤0.0601	≤0.100	3.5	≥0.257	505	395	515	400

3. 6/6 ~ 12/20kV 单芯交联聚乙烯绝缘电力电缆连续负荷参考载流量见表 10-24，3. 6/6 ~ 12/20kV 三芯交联聚乙烯绝缘电力电缆连续负荷参考载流量见表 10-25。

表 10-24　3. 6/6 ~ 12/20kV 单芯交联聚乙烯绝缘电力电缆连续负荷参考载流量

（单位：A）

型　号	YJV　YJLY　YJY　YJLY							
排列方式	三角形（相互接触）				扁平形（相邻间距等于电缆外径）			
标准截面积 /mm^2	空气中		直埋土壤中		空气中		直埋土壤中	
	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
25	140	110	150	115	165	130	160	120
35	170	135	180	135	205	155	190	145
50	205	160	215	160	245	190	225	175
70	260	200	265	200	305	235	275	215
95	315	245	315	240	370	290	330	255
120	360	280	360	270	430	335	375	290
150	410	320	405	305	490	380	425	330
185	470	365	455	345	560	435	480	370
240	555	435	530	400	665	515	555	435
300	640	500	595	455	765	595	630	490
400	745	585	680	520	890	695	725	565
500	855	680	765	595	1030	810	825	650
630	980	790	860	680	1190	950	940	745
800	1100	910	950	765	1370	1100	1050	850
1000	1230	1030	1040	850	1540	1260	1170	950

注：单芯钢丝铠装电缆连续负荷参考载流量为非铠装单芯电缆的 65%。

表 10-25　3. 6/6 ~ 12/20kV 三芯交联聚乙烯绝缘电力电缆连续负荷参考载流量

（单位：A）

型　号	YJV　YJY　YJV22　YJLV　JYLY　YJLV22									
电压	3. 6/6 ~ 12/20kV									
敷设	空气中		土壤热阻系数							
			ρ_ω		ρ_D/（km/W）					
			1. 0		2. 5		3. 0		3. 5	
标称截面积/mm^2	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝	铜	铝
25	120	90	125	100	120	90	120	90	115	90
35	140	110	155	120	140	110	140	110	135	105
50	165	130	180	140	165	125	165	125	165	125
70	210	165	220	170	205	160	200	155	195	155
95	255	200	265	210	240	185	235	185	235	180
120	290	225	300	235	270	210	265	210	260	205
150	330	255	340	260	300	235	300	235	295	230
185	375	295	380	300	345	265	335	260	330	255
240	435	345	435	345	390	305	385	305	380	300
300	495	390	485	390	435	345	430	340	420	335
400	585	465	575	465	530	420	525	415	515	410
500	662	514	662	505	612	455	605	445	600	440
工作温度/℃	90									
环境温度/℃	40		25							

注：表中 ρ_ω 为未发生水分迁移时的土壤热阻系数；ρ_D 为水分迁移使土壤干枯时的土壤热阻系数。

电缆在空气中敷设时，长期允许载流量的温度校正系数见表 10-26；电缆在土壤中敷设时，长期允许载流量的温度校正系数见表 10-27；电缆在不同土壤热阻系数时，长期允许载流量的校正系数见表 10-28。

表 10-26　电缆在空气中敷设时长期允许载流量的温度校正系数

导体工作温度/℃	环境温度/℃（空气中）								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
60	1.58	1.50	1.41	1.32	1.22	1.11	1.00	0.86	0.73
65	1.48	1.41	1.34	1.26	1.18	1.09	1.00	0.89	0.77
70	1.41	1.35	1.29	1.22	1.15	1.08	1.00	0.91	0.81
80	1.32	1.27	1.22	1.17	1.11	1.06	1.00	0.93	0.86
90	1.26	1.22	1.18	1.14	1.09	1.04	1.00	0.94	0.89
105	1.22	1.19	1.15	1.11	1.08	1.04	1.00	0.95	0.91

表 10-27　电缆在土壤中敷设时长期允许载流量的温度校正系数

导体工作温度/℃	环境温度/℃（土壤中）					
	10	15	20	25	30	35
60	1.20	1.13	1.07	1.00	0.93	0.85
65	1.17	1.12	1.06	1.00	0.94	0.87
70	1.15	1.11	1.05	1.00	0.94	0.88
80	1.13	1.09	1.04	1.00	0.95	0.90
90	1.11	1.07	1.04	1.00	0.96	0.92

表 10-28　电缆在不同土壤热阻系数时长期允许载流量的校正系数

电压/kV	截面积/mm^2	土壤热阻系数 ρ_t/(km/W)				
		0.8	1.0	1.2	1.5	2.0
3.6/6～6/6	≤35	1.06	1.00	0.95	0.88	0.80
	50～150	1.08	1.00	0.94	0.87	0.77
	≥185	1.09	1.00	0.93	0.85	0.76
6/10～12/15	≤35	1.05	1.00	0.95	0.89	0.80
	50～150	1.06	1.00	0.94	0.88	0.79
	≥185	1.07	1.00	0.93	0.86	0.77
12/20～26/35	≤95	1.05	1.00	0.95	0.90	0.82
	≥120	1.06	1.00	0.94	0.83	0.80

电缆在空气中多根并列敷设时，长期允许载流量的修正系数见表 10-29。

表 10-29　电缆在空气中多根并列敷设时长期允许载流量的修正系数

排列	层数	层数×根数	电缆间隙与电缆直径比 d/D_e		载流量的修正系数	备　注
			水平	垂直		
多芯电缆平面排列	一层	1×2	—	<5	0.89	d——电缆的间隙 D_e——电缆外径 排列图例: 一层:1×3 二层:2×2 三层:3×3
		1×3	—	<0.75	0.84	
	二层	2×1	<0.5	1.9～1.5	0.99	
				1.4～1.0	0.97	
				<0.5	0.90	
		2×2	<0.5	2～1.5	0.99	
				1.49～1.5	0.97	
				0.9～0.5	0.90	
	三层	3×1	—	4～3	0.99	
				2.9～2.0	0.97	
				1.9～1.0	0.94	
				<0.5	0.85	
		3×2 3×3	<0.5 <0.75	4～3	0.99	
				2.9～2.0	0.97	
				1.9～1.0	0.94	
				<0.5	0.85	

注：电缆置于电缆托盘、夹板、电缆桥架等非连续性支撑物上，并距离墙壁一个电缆外径。

电力电缆导体允许最大短路电流见表 10-30。

表 10-30　电力电缆导体允许最大短路电流

导体标称截面积 /mm²	导体允许最大短路电流(1s)/kA		导体标称截面积 /mm²	导体允许最大短路电流(1s)/kA	
	铜导体	铝导体		铜导体	铝导体
10	1.51	0.986	150	21.7	14.2
16	2.39	1.56	185	26.7	17.5
25	3.69	2.42	240	34.6	22.6
35	5.15	3.37	300	43.1	28.2
50	7.31	4.79	400	57.4	37.6
70	10.2	6.68	500	71.7	47.0
95	13.8	9.03	630	88.8	58.0
120	17.4	11.4			

YJV 型单芯电力电缆铜带屏蔽层的允许最大短路电流见表 10-31。

表 10-31　YJV 型单芯电力电缆铜带屏蔽层的允许最大短路电流

导体标称截面积/mm²	电缆额定电压/kV						
	3.6/6	6/6 6/10	8.7/10 8.7/15	12/20	18/30	21/35	26/35
	短路电流/A						
25	1075	1083	1094	—	—	—	—
35	1074	1082	1092	1096	—	—	—
50	1072	1080	1091	1095	1284	1286	1288
70	1070	1079	1090	1091	1281	1285	1286
95	1069	1077	1086	1272	1280	1284	1283
120	1068	1077	1266	1271	1279	1280	1282
150	1067	1076	1265	1270	1278	1279	1282
185	1064	1251	1264	1267	1275	1279	1279
240	1241	1250	1262	1266	1274	1276	1278
300	1239	1246	1261	1265	1271	1275	1277
400	1240	1245	1256	1260	1270	1272	1274
500	1243	1244	1253	1257	1266	1272	1273
630	1236	1238	1252	1253	1265	1270	1270

第四节　架空线路的施工

架空线路的施工包括杆位复测、挖坑、排杆、立杆和架线等环节。

一、杆位复测

根据施工设计图，复测原钉立的杆桩是否与设计资料相符，避免桩位因外力碰撞位移或丢失而造成施工失误。

二、挖坑

根据所使用的立杆机具及是否加装底盘，确定是挖成圆坑还是带有马道的坑。

对于无底盘的用汽车吊等机具立杆的混凝土杆坑，最好用打洞机打成圆洞，或用夹板锹挖成圆洞，以求不破坏或少破坏土质的原有紧密性。

用人力和抱杆等工具立杆时，应开挖成带有马道的坑。主坑中心线在设计杆位的中心，马道应开挖在立杆的一侧。拉线坑应开挖在标定拉线桩位处，其中心线及深度应符合设计要求。在拉线引入一侧应开挖斜槽，以防拉线不能伸直，影响拉力。

电杆埋设深度见表 10-32。

表 10-32　电杆的埋设深度　（单位：m）

杆高	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	15.0
埋深	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.3

电杆基础应结合当地的运行经验、材料来源、地质情况等条件进行设计。

三、排杆

根据设计图样所列的杆号及杆型，将混凝土杆分别运到便于立杆的对应杆坑处。

四、组杆

为施工方便，一般都先在地面上将电杆顶部全部组装完毕，然后整体立杆。

五、立杆

立杆时，通常用汽车吊等机具立杆，这样既快又安全。在不能使用或缺少机械化吊杆机具的地方，也可用人力和一些专用器具立杆。立杆前应检查所用工器具，立杆过程中要有专人指挥，随时注意检查立杆工具受力情况，遵守有关安全规定。

固定式人字抱杆立杆法如图 10-3 所示，起吊工具有人字抱杆 1 副，高度约为杆高的 1/2；起吊用钢丝绳 1 条，长约 45m，直径一般为 10mm；固定抱杆用牵引钢丝绳 2 条，长约为杆高的 1.5 倍，直径为 6mm；承载 3t 的滑轮 1 组，承载 3t 的滑轮 1 个；绞磨 1 台；钢钎数根。

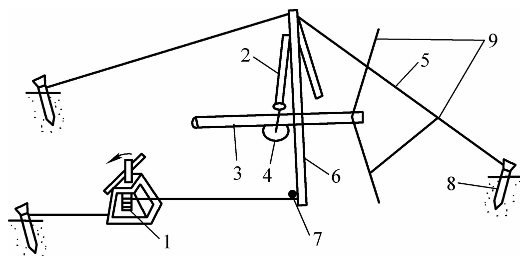


图 10-3　固定式人字抱杆立杆法
1—绞磨　2—滑轮组　3—电杆　4—杆坑
5—钢丝拉绳　6—固定抱杆　7—引导滑轮
8—钢钎　9—两侧风绳

立杆注意事项：

1）电杆离地面 1m 左右时，应停止起立，观察立杆工具和绳索受力情况，如无异常，可继续起立。当电杆与地面 60°时起吊速度应放慢，以防电杆向反方向倒杆。

2）起吊电杆过程中，两侧风绳（又叫榠绳、晃绳）和牵引是重点，必须统一信号、统一指挥，认真配合与操作。

3）电杆起立后、埋土前，各方向临时拉线不准拆除。这时指挥人员应观察电杆沿线路方向是否正、直，沿线路垂直方向是否正、直，横担是否与线路垂直，如有偏差，应调整后再回填。

4）埋土夯实。要求每埋 300～500mm 夯实一次。坑内如有水，应将水排干；如有大土块，应将土块打碎后再回填。回填土应高出地面 300～500mm（马道部分也要高出地面 300～500mm）。

5）随着电杆的起立，两侧风绳应均匀地松出，使杆头始终处在要求的中心线上。当电杆起立到 35°～45°的时候，使杆根缓慢、准确地落入底盘圆槽。

六、拉线及其安装

架空线路中，凡承受固定性不平衡荷载比较显著的电杆，如终端杆、转角杆、跨越杆等均装设拉线以保持平衡。同时为了避免线路受大风荷载的破坏影响，以及在土质松软地区为增加电杆的稳定性，也应在垂直线路两侧加装防风拉线。

1. 拉线的结构

拉线上端用楔型线夹与抱箍连接，下端用 UT 型线夹与拉线棒相连，如图 10-4 所示。

拉线应用镀锌钢绞线制作，拉线规格由设计计算确定，但不小于规程规定的最小截面积为 $25mm^2$。

拉线通常分上下两部分，上部拉线连接电杆称为上把，与上把连接部分叫中把,下部拉线包括拉线环、拉线棒称为下把。拉线上把固定在电杆拉线抱箍上,拉线如从导线间穿过时,在上中把连接部分应装设拉线绝缘子。拉线绝缘子距地面不应小于 2. 5m。

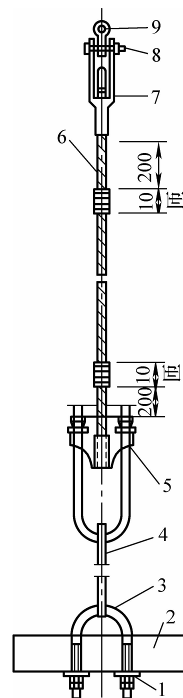


图 10-4　楔型线夹-UT 型线夹钢绞线拉线组装图

1—大方垫　2—拉线盘　3—U 形螺钉　4—拉线棒　5—UT 型线夹　6—钢绞线　7—楔型线夹　8—六角带帽螺钉　9—U 形挂环

2. 拉线的绑扎法

拉线的上把环和下把环都要设置心形环，拉线环的绑扎宜用直径不小于 3. 2mm 镀锌铁线紧密、缠绕整齐。上把环内径应大于 16mm 小于 25mm，中把环长径不得大于拉线绝缘子长径的 1. 5 倍。

3. 上中把环和下把环的制作方法

1）按上中把环的内径将镀锌铁线密缠 120mm 扳起钢绞线端头，在本线上密缠 50mm，再将钢绞线端头压下去，密缠 80mm 后拧三个花的小辫，余线剪去，如图 10-5 所示。

2）拉线下把环制法时，将镀锌钢绞线握成能容纳拉线棒直径 1. 5 倍大小的环，用直径 3. 2 ~ 4. 0mm 的镀锌铁线密缠 200 ~ 300mm，在相距 250mm 处再密缠 50mm 后拧三个花的小瓣，余线剪去，如图 10-6 所示。

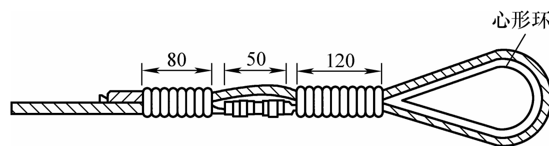


图 10-5　钢绞线线拉线上中把制法

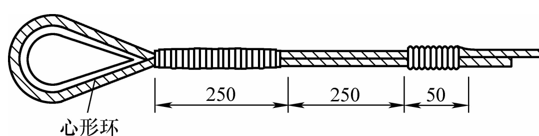


图 10-6　钢线、铁线拉线下把制法

3）拉线绝缘子套环的制作是在拉线绝缘子长径 1. 5 倍处用 3 ~ 4 个钢线卡子（$25mm^2$ 及以下），将钢绞线卡紧不得抽动，如图 10-7 所示，拉线绝缘子选用见表 10-33。

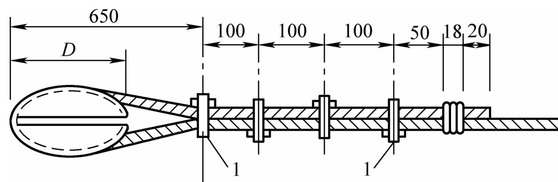


图 10-7　拉线绝缘子套环的制作

1—钢线卡子　*D*—拉线绝缘子长径

4. 拉线的装设

普通拉线与电杆夹角一般为 45°，受地形限制时不应小于 30°。

（1）拉线装设方向

30°及以内的角度杆设合力拉线，拉线应设在线路外角的平分线上；30°以上的角度杆拉线应按线路导线方向分别设置。终端杆

的拉线应设在线路中心线的延长线上；防风拉线应与线路方向垂直。

表 10-33　拉线绝缘子选用表（含拉线棒）

拉线绝缘子		拉线（镀锌钢绞线）/mm^2	拉线棒（圆钢）/mm	使用拉力/kN
型　号	规格/mm			
J-2	90×80	25	ϕ16	10
J-2	90×80	35	ϕ16	15
J-4. 5	110×100	50	ϕ19	20

（2）接线埋设深度

拉线坑深度按受力大小及地质情况确定，一般为 1. 2 ~ 2. 2m 深。拉线棒最小直径为 ϕ16mm。拉线棒一般采取镀锌防腐。

七、放线

放线时要根据导线的多少，分别采用手放或用线轴架、放线车放线。放线时，最好在电杆上或横担上挂铝制的或木制的开口滑轮，把导线放在轮槽内，这样既省力又不会磨损导线。

八、紧线

1）紧线时根据导线截面积的大小和耐张段的长短，选用人力紧线、紧线器紧线、绞磨紧线或汽车紧线等方法。为防止横担扭转，可同时紧两根边线（即先紧两边线，后紧中间两根线）。

2）紧线时，要根据当时的气温　确定导线的弧垂值。

在耐张段内选择一个标准档距，在该档距的两端电杆上，根据要求的弧垂值，各绑一横板（弛度尺），如图 10-8 所示。当导线紧到观察档导线最低点和两块横板这三点成一条直线时，弧度就可以了。

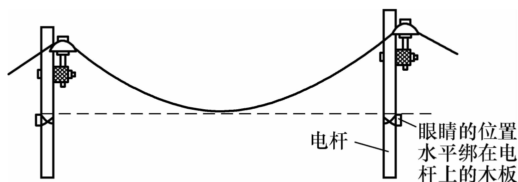


图 10-8　紧线与观测弧垂

3）紧线时注意事项

①紧线前，应检查导线是否都放在铝滑轮中，检查各档导线有无挂住现象，检查两端耐张的临时拉线或永久拉线是否可靠。小段紧线亦可将导线放在针式绝缘子的顶部沟槽内，不许将导线放在铁横担上。

②紧线时要有统一的指挥，明确的松、紧信号。

③紧线时，一般应做到每基电杆都有人监视，以便及时松动导线，使导线接触点能顺利越过滑轮车或绝缘子。

九、导线在绝缘子上的固定

1. 针式绝缘子

总的要求是要绑紧，绑线排列要整齐，绑线与导线应选用同一种金属。铝绑线的直径一般选用 ϕ2. 0mm，铜绑线一般选用 ϕ1. 6mm。对铝线，在绑扎的一段导线上，应先缠绕一层铝包带，针式绝缘子单十字顶绑法如图 10-9 所示。

2. 终端杆蝶式绝缘子

蝶式绝缘子的绑扎方法如图 10-10 所示。

3. 导线在耐张线夹上固定

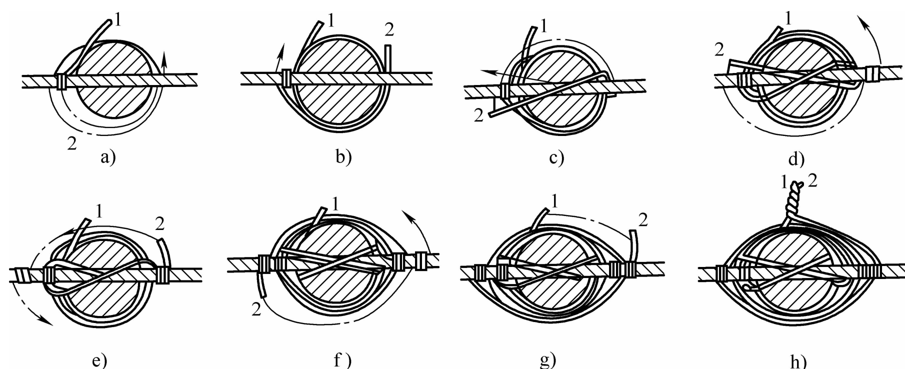


图 10-9　针式绝缘子的单十字顶绑法
a）先在导线绕三圈　b）绕瓷横担一圈半　c）导线上边交叉　d）导线上边绑十字
e）再在导线上绕三圈　f）第三次在导线上绑三圈
g）第四次在导线上绕三圈　h）拧小辫

将耐张绝缘子通过 U 形挂环固定在横担上，导线通过耐张线夹与绝缘子固定。固定时要求如下：

1）耐张线夹内的导线应包缠铝包带，并在线夹两端各露出 50mm，同时应将铝包带尾端压在先夹内。

2）绝缘子串、导线、线夹等组装时应注意其螺栓及弹簧销子的穿向。

3）紧固耐张线夹上的 U 形螺钉时，U 形螺钉的压块应摆正。

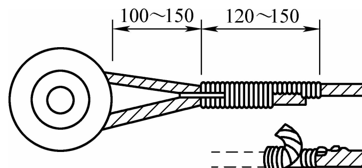


图 10-10　终端杆蝶式绝缘子的绑扎法

十、导线的连接

1. 钳压法

铝绞线及钢芯铝绞线，多采用此法，即先将要连接的两根导线的端头，穿入铝压管中（导线端头露出管外部分不得小于 20mm），利用压钳的压力使铝管变形，把导线挤住。压接管和压模的型号根据导线型号选用（铝绞线压接管和钢芯铝绞线压接管规格不同，不能互相代用），压接顺序如图 10-11 中数字所示。

在压接中，当上下压模相碰时，压坑深度恰好满足要求。压坑不能过浅，否则压接管握着力不够，导线会抽出来。各种导线的压坑数目应符合规定。每压完一个坑后要持续压力 1min 后再松开，以保证压坑深度准确。钢芯铝绞线压接管中有铝垫片，填在两导线间，可增加接头握着力，并使接触良好。

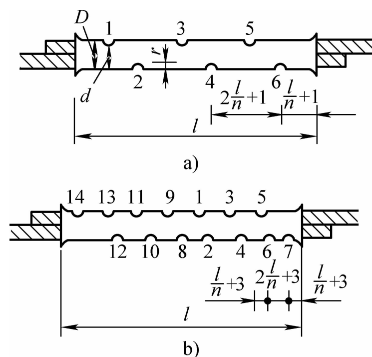


图 10-11　导线压接顺序
a）铝绞线压接顺序
b）钢芯铝绞线压接顺序

压接前应将导线用布蘸汽油清擦干净，涂上中性凡士林油后，再用钢丝刷清擦一遍，压接完毕应在压管两端涂红丹粉油。压后要进行检查；如压管弯曲，要用木槌调

直；压管弯曲过大或有裂纹的，要重新压接。

2. 插接法

多股铜导线多用此法。首先拧开两根导线头，把它们交叉在一起，如图 10-12a 所示；再用绑线在中间缠绕 50mm，如图 10-12b 所示；然后用导线本身的单股线或双股线向两端逐步缠绕；一股缠完后，将余下的线尾压在下面，再用另一股缠，直至缠完为止，如图 10-12c 所示；全部缠完后的插接接头，如图 10-12d 所示。导线截面积在 $50mm^2$ 以下的连接长度，一般为 200 ~ 300mm。

3. 绑接法

对于单股导线以及较小型号导线的弓子线连接，可采用绑接法（临时供电线路中的铜导线或铝绞线也可使用此法），如图 10-13 所示。大线号的跳线弓子线，应使用线夹连接。

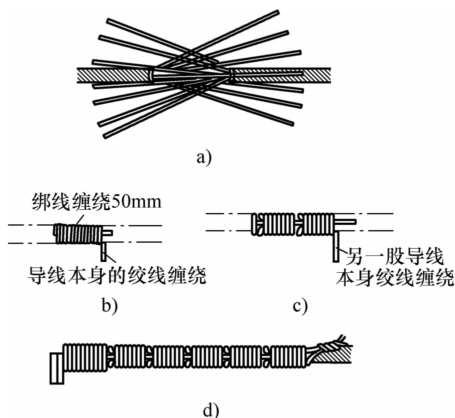


图 10-12　导线插接法顺序

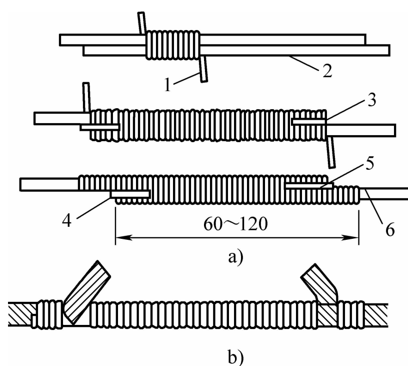


图 10-13　导线绑接法

a）单股导线　b）多股导线

1—绑线　2—辅助线　3、4—主线的多余部分弯起

5—绑线在辅助线和一根主线上缠 5 ~ 6 圈

6—绑线在辅助线上缠 3 ~ 4 圈后收结

第五节　架空绝缘线路的施工

一、架空绝缘线路架设的一般原则

在城市 10/0.4kV 电网建设改造中，应首先采用架空绝缘线路。既解决配电线路与城市街道绿化树木之间的矛盾，又明显降低线路在运行中的异常故障。同时降低了线路运行维护人员的维护工作量，提高了线路的安全可靠供电。

在城市的 10/0.4kV 架空线路遇到下列情况时，应采用架空绝缘铝绞线电缆。

1）在旧城区，工厂密布、道路狭窄、居民住宅鳞次栉比，已经难以开辟新的配电线路通道；架设线路与建筑物之间的距离不能满足安全要求。在城网建设改造中，应采用架空绝缘电缆线路。

2）高层建筑邻近地段。

3）繁华街道或人口密集居民住宅地区。

4）游览区和风景绿化区。

5）空气严重污秽地段。

6）建筑施工现场。

架空绝缘线路的架设，一般都选用分列架设的绝缘电缆系统，也可采用集束型绝缘电缆系统。架空绝缘线路应选用合格的架空绝缘电缆，及新型的电力金具。

二、架空绝缘导线配电变压器的安装

架空绝缘导线配电变压器台架安装方式如图 10-14 所示，安装设备材料见表 10-34。

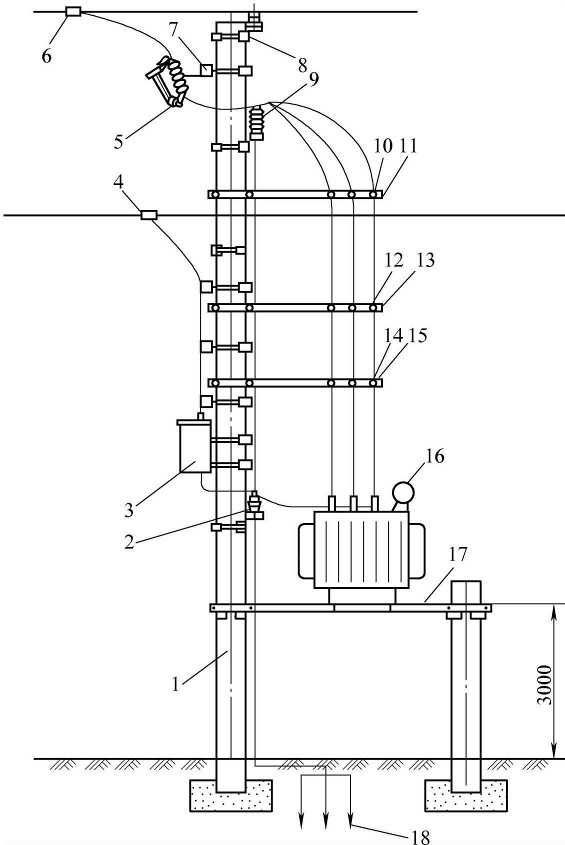


图 10-14　架空绝缘导线配电变压器台架安装方式

1—水泥杆　2、9—氧化锌避雷器　3—低压配电箱　4—楔形线夹　5—跌开式熔断器　6—黄铜线夹　7、8、11、13、15—镀锌角铁横担　10、12、14—柱式绝缘子　16—配电变压器　17—槽钢　18—接地圆钢

表 10-34　架空绝缘导线配电变压器台架安装设备材料

序号	器材名称	型号规格	数量	序号	器材名称	型号规格	数量
1	水泥杆	ϕ190 × 15000（非）	1	4	楔形线夹	4-120/185	3
2	氧化锌避雷器	YH1.5W-0.5/2.6	3	5	跌落式熔断器	RW3-10/200	3
3	低压配电箱		1	6	黄铜线夹	95mm^2	3

（续）

序号	器材名称	型号规格	数量	序号	器材名称	型号规格	数量
7	镀锌角铁横担	∟8×63×63×1900	1	13	镀锌角铁横担	∟6×50×50×1900	1
8	镀锌角铁横担	∟8×63×63×1900	1	14	柱式绝缘子	PS-15/3	3
9	氧化锌避雷器	HY5WS2-16.5/50	3	15	镀锌角铁横担	∟6×50×50×1900	1
10	柱式绝缘子	PS-15/3	3	16	配电变压器	S11-400-10/0.4	1
11	镀锌角铁横担	∟6×50×50×1900	1	17	配电变压器支架槽钢	20#2740	1 副
12	柱式绝缘子	PS-15/3	3	18	接地圆钢	ϕ16×2500	3

三、10kV 架空绝缘线路的安装

1. 直线杆的安装

10kV 架空绝缘导线三角形排列直线杆的安装如图 10-15 所示，其安装设备材料见表 10-35。

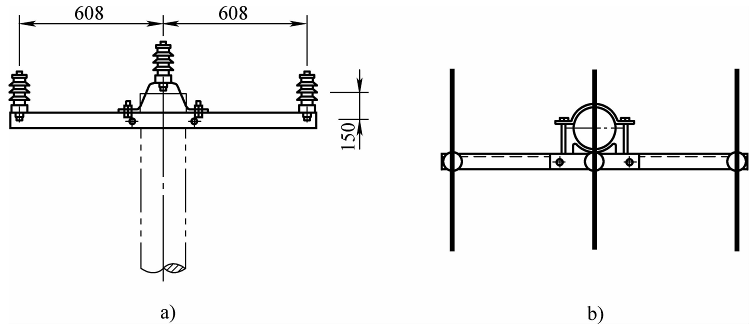


图 10-15　10kV 架空绝缘导线三角形排列直线杆的安装
a）正视图　b）俯视图

表 10-35　10kV 架空绝缘导线三角形排列直线杆安装设备材料

序号	规格名称	单位	数量	备注
1	PS-15/2.5 棒形针式绝缘子	只	3	
2	耐候型绝缘扎线	卷	3	2M/卷
3	-8×50 中相垫高支架	块	1	
4	M16×35 单帽螺栓	只	2	
5	B16 圆垫圈	个	2	
6	1296 角钢四路横担（连托架）	根	1	
7	ϕ190 抱箍	付	0.5	
8	M16×180 单帽螺栓	只	2	

2. 30°～90°转角杆的安装

10kV 架空绝缘导线 30°～90°转角杆的安装如图 10-16 所示，其安装设备材料见表 10-36。

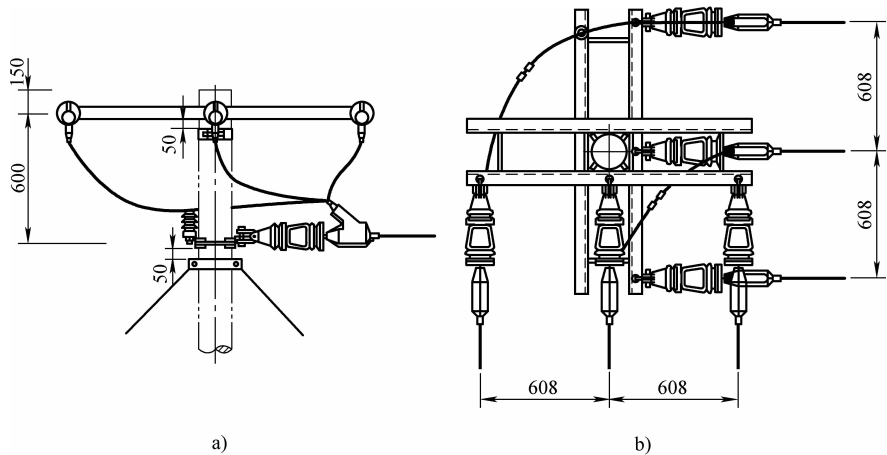


图 10-16　10kV 架空绝缘导线 30°～90°转角杆的安装

a）正视图　b）俯视图

表 10-36　10kV 架空绝缘导线 30°～90°转角杆安装设备材料

序　　号	规 格 名 称	单　　位	数　　量	备　　注
1	10kV 绝缘导线耐张串装置	串	6	根据导线选用
2	1600 角钢四路横担（连托架）	根	4	
3	PS-15/2. 5 棒形针式绝缘子	只	3	
4	耐候型绝缘扎线	卷	3	2m/卷
5	GJ-35 板线装置	套	2	
6	ϕ190 抱箍	付	2	
7	M16×75 单帽螺栓	只	4	
8	M16×290 双头四帽螺栓	只	4	
9	10kV 绝缘导线接续装置	套	3	根据导线选用
10	M16×280 单帽螺栓	只	4	
11	B16 圆垫圈	个	8	

3. 终端耐张杆的安装

10kV 架空绝缘导线终端耐张杆的安装如图 10-17 所示，其安装设备材料见表 10-37。

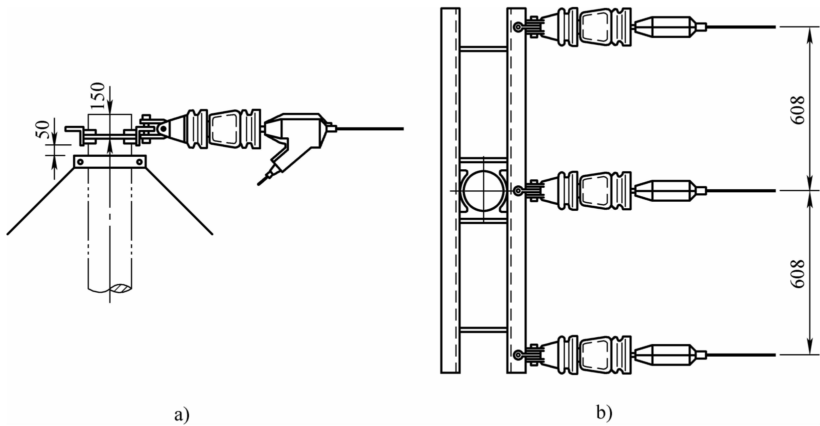


图 10-17　10kV 架空绝缘导线终端耐张杆的安装

a）正视图　b）俯视图

表 10-37　10kV 架空绝缘导线终端耐张杆安装设备材料

序　号	规格名称	单　位	数　量	备　注
1	10kV 绝缘导线耐张串装置	串	3	根据导线选用
2	GJ-35 板线装置	套	1	
3	ϕ190 抱箍	副	1	
4	M16×75 单帽螺栓	只	2	
5	M16×290 双头四帽螺栓	只	2	
6	M16×280 单帽螺栓	只	2	
7	B16 圆垫圈	个	4	
8	1296 角钢四路横担（连托架）	根	2	

四、0.4kV 架空绝缘线路的安装

1. 直线杆的安装

0.4kV 架空绝缘导线直线杆的安装如图 10-18 所示，其安装设备材料见表 10-38。

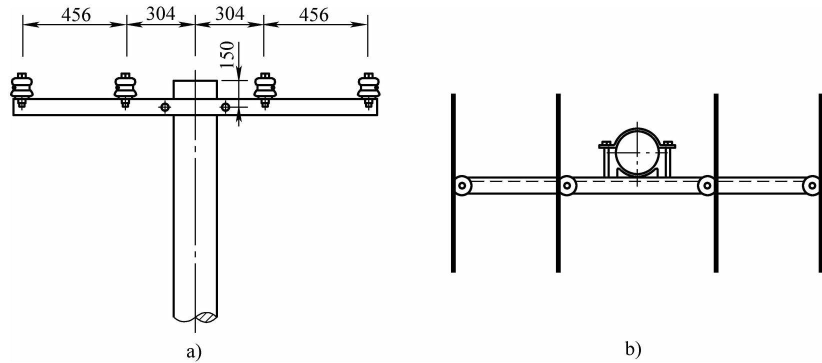


图 10-18　0.4kV 架空绝缘导线直线杆的安装

a）正视图　b）俯视图

表 10-38　0.4kV 架空绝缘导线直线杆安装设备材料

序　号	规格名称	单　位	数　量	备　注
1	1600 角钢四路横担（连托架）	根	1	
2	低压 2#蝴蝶绝缘子	只	4	
3	耐候型绝缘扎线	卷	4	2m/卷
4	M16×140 单帽螺栓	只	4	
5	B16 圆垫圈	个	6	
6	ϕ190 抱箍	副	0.5	
7	M16×180 单帽螺栓	只	2	

2. 45°～90°转角耐张杆的安装

0.4kV 架空绝缘导线 45°～90°转角耐张杆的安装如图 10-19 所示，其安装设备材料见表 10-39。

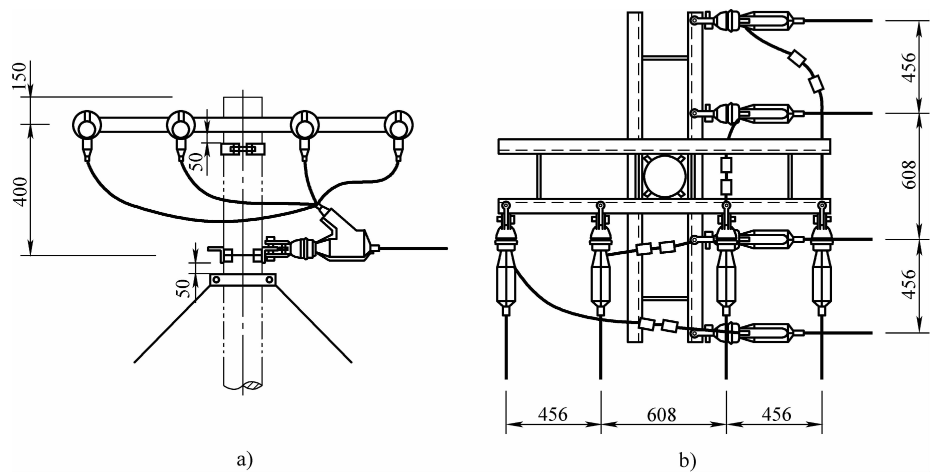


图 10-19　0.4kV 架空绝缘导线 45°～90°转角耐张杆的安装
a）正视图　b）俯视图

表 10-39　0.4kV 架空绝缘导线 45°～90°转角耐张杆安装设备材料

序　　号	规 格 名 称	单　　位	数　　量	备　　注
1	0.4kV 绝缘导线耐张串装置	串	8	根据导线选用
2	1600 角钢四路横担（连托架）	根	4	
3	低压 2#蝴蝶绝缘子	只	4	
4	耐候型绝缘扎线	卷	2	2m/卷
5	M16×140 单帽螺栓	只	2	
6	GJ-35 板线装置	套	2	
7	ϕ190 抱箍	副	2	
8	M16×75 单帽螺栓	只	4	
9	0.4kV 绝缘导线接续装置	套	4	根据导线选用
10	M16×290 双头四帽螺栓	只	4	
11	M16×280 单帽螺栓	只	4	
12	B16 圆垫圈	个	10	

3. 直线支接杆的安装

0.4kV 架空绝缘导线直线支接杆的安装如图 10-20 所示，其安装设备材料见表 10-40。

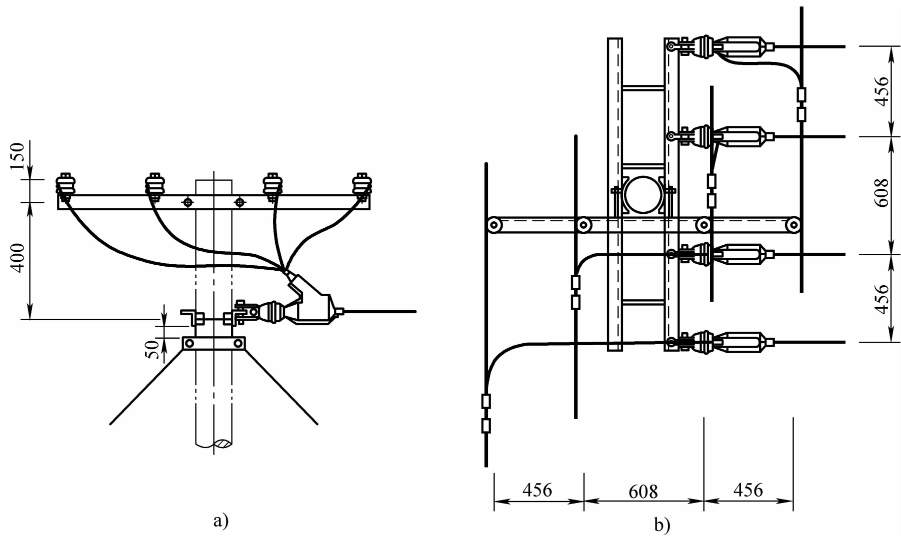


图 10-20　0.4kV 架空绝缘导线直线支接杆的安装

a）正视图　b）俯视图

表 10-40　0.4kV 架空绝缘导线直线支接杆安装设备材料

序　　号	规 格 名 称	单　　位	数　　量	备　　注
1	0.4kV 绝缘导线耐张串装置	串	4	根据导线选用
2	低压 2#蝴蝶绝缘子	只	4	
3	耐候型绝缘扎线	卷	2	2m/卷
4	1600 角钢四路横担（连托架）	根	3	
5	M16×140 单帽螺栓	只	4	
6	B16 圆垫圈	个	10	
7	GJ-35 板线装置	套	1	
8	ϕ190 抱箍	副	1.5	
9	M16×75 单帽螺栓	只	2	
10	M16×290 双头四帽螺栓	只	2	
11	M16×280 单帽螺栓	只	2	
12	M16×180 单帽螺栓	只	2	
13	0.4kV 绝缘导线接续装置	套	4	根据导线选用

第六节　电缆的敷设

一、电缆的敷设方式

电力电缆的敷设方式很多，一般敷设于沟道、隧道内、支架上、竖井中，穿入管道内，直接埋设于地下等。在实际使用时，可以根据需要和可能，一条电缆线路往往需要采用几种敷设方式。

二、电缆敷设的一般要求

1）电缆敷设前，电缆线路敷设的建筑结构施工应完备。检查电缆沟及隧道等土建部分弯曲处的弯曲半径是否符合要求，通道畅通，排水良好。电缆型号、电压、规格应符合设计要求。电缆绝缘良好，当怀疑油纸电缆密封性时，应进行潮湿判断，直埋电缆应试验合格。

2）电缆敷设时，不应破坏电缆沟和隧道的防水层，不应破坏地下管线。

3）在三相四线制系统中应使用四芯电力电缆，不应采用三芯电缆另加一根单芯电缆或导线、电缆金属护套等作中性线的方式。

4）并联运行的电力电缆长度型号规格宜相同。

5）电缆敷设时，在电缆终端头与电缆接头附近宜留有备用长度，直埋电缆应在全长上留少量裕度，并作波浪敷设。

6）电缆各支持点间的距离应按设计规定，当设计无规定时，则不应大于表 10-41 所列数值。

表 10-41　电缆支持点间的距离

电 缆 种 类		敷 设 方 式	
		水平/mm	垂直/mm
电力电缆	全塑型	400	1000
	除全塑型外的中低压电缆	800	1500
	35kV 及以上高压电缆	1500	2000
控制电缆		800	1000

7）电缆的弯曲半径应符合表 10-42 的规定。

表 10-42　电缆最小允许弯曲半径与电缆外径的比值

电 缆 种 类	电缆护层结构	单　　芯	多　　芯
油浸纸绝缘电力电缆	铠装（或无铠装）	20	15（20）
橡塑绝缘电力电缆	橡皮或聚氯乙烯护套	10	10
	裸铅护套	15	15
	铅护套钢带铠装	20	20
交联聚乙烯电力电缆		20	15
控制电缆	铠装或无铠装	—	10

8）电缆敷设时，不宜交叉，应排列整齐并加以固定，及时装设标志牌。

9）标志牌的装设应符合下列要求：

①电缆终端头处、电缆接头处、隧道及竖井的两端、入井内应装设标志牌。

②标志牌上应注明线路编号（当无设计编号时，则应写明型号、规格及起讫地点），并联使用的电缆应有顺序号。

10）直埋电缆线路的直线部分每隔 50～100m 处、进入建筑物处，应埋设标桩或方位标

志，接头和转弯处也应埋设标桩。

11）电缆线路的长度不超过厂家制造长度时，应使用整条电缆，尽量避免接头。如必须有接头时，应设在电缆沟或电缆隧道的人孔或手孔处，并做好标志。

12）直接埋入地下的电缆，应有铠装和防腐层保护。

13）直接埋入地下的电缆，埋入前需将沟底铲平夯实，电缆周围应填入不小于100mm厚的软土或沙层，上部要用定型的混凝土保护或砖块盖好。不应将电缆埋设在具有垃圾的土层中。

14）10kV 及以下直埋电缆的深度，一般不应小于0.7m，农田中不小于1m。

15）直埋电缆之间及与管道，建筑物的最小允许净距应符合表10-43的规定。

16）电缆芯线的连接，均应采用圆形套管连接，铜芯用铜套管连接或焊接，铝芯用铝套管压接。铜铝电缆相连接，应用铜铝过渡连接管。

铝芯电缆在压接前必须清除氧化膜。套管压接后的整体不应有变形、弯曲等现象。

17）电缆固定时，应符合下列要求：

①电缆在下列部位应加以固定：垂直敷设或超过45°倾斜敷设的电缆在每一个支架上；水平敷设的电缆，在电缆首末两端及转弯，电缆接头的两端处。

②统一电缆夹具的型式。

③使用于交流的单芯电缆或分相铅套电缆在分相后的固定，其夹具不应构成闭合磁路。

④裸铅铝套电缆的固定处，应加软衬垫保护。

表10-43　直埋电缆之间及电缆与各种设施间的最小允许净距

序号	项　目		最小允许净距/m		备　注
			平行	交叉	
1	电力电缆之间及其与控制电缆间	10kV 及以下	0.10	0.50	当电缆穿管或用隔板隔开时，平行净距可降低为0.1m，交叉净距可降低为0.25m
		10kV 以上	0.25	0.50	
2	热管道及热力设备		2.00	0.50	（1）应采取隔热措施，使电缆周围土壤的温升不超过10℃ （2）当交叉净距不能满足要求时，可将电缆穿入管中，其净距可减为0.25m
3	油管道		1.00	0.50	
4	可燃气体及易燃液体管道		1.00	0.50	
5	其他管道		0.50	0.50	
6	电杆		0.60	—	
7	建筑物基础（边线）		0.60	—	
8	排水沟		1.00	0.5	

三、电缆沟的施工

电缆沟的施工工艺如图10-21所示。

电缆引入管的敷设方法如图10-22所示。

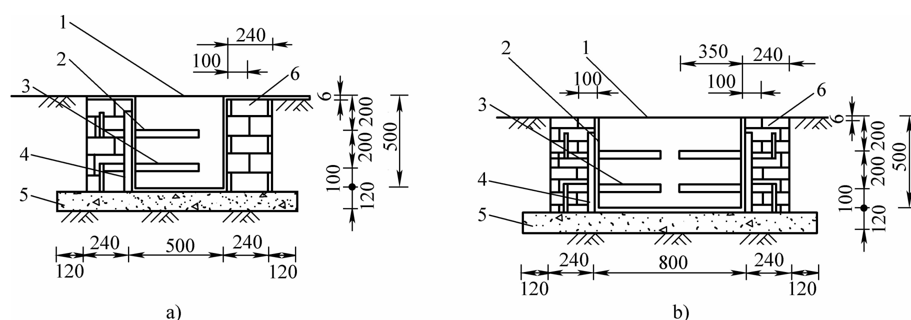


图 10-21　电缆沟的施工工艺

a）单列布置　b）双列布置

1—δ6 花纹钢板电缆沟盖板　2—50×5 通长焊接镀锌接地扁铁　3—电缆支架

4—C15 防水混凝土层　5—C10 混凝土底板　6—水泥砂浆砖砌

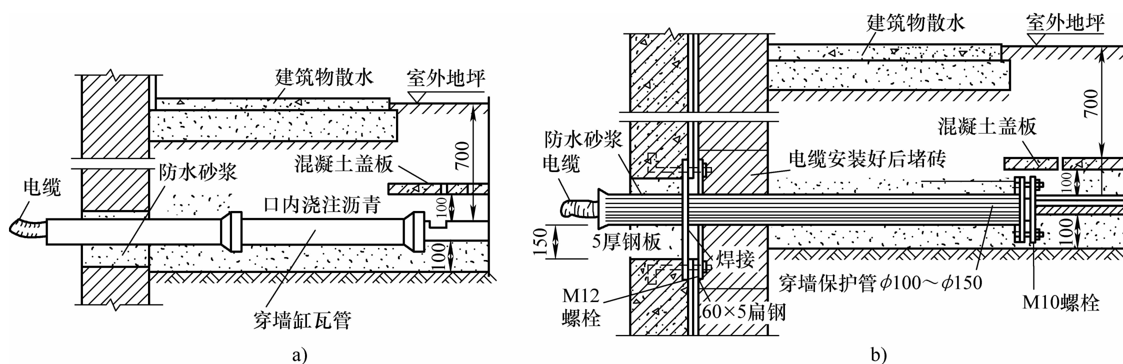


图 10-22　电缆引入管的敷设方法

a）穿墙缸瓦管敷设　b）穿墙钢管敷设

四、塑料电缆中间接头的制作

塑料电缆中间接头是在线芯接头外包缠自粘橡胶带，再套上塑料盒制成。6～10kV 分相屏蔽塑料电缆中间接头结构如图 10-23 所示，图中只详细表示一相，制作时具体尺寸见表 10-44 和表 10-45。

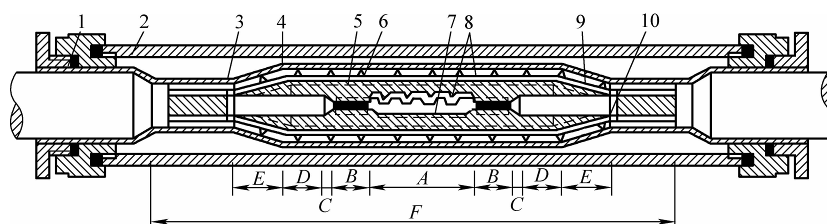


图 10-23　6～10kV 分相屏蔽塑料电缆中间接头结构

1—橡皮圈　2—塑料盒　3—白布带　4—塑料粘胶带　5—自粘橡胶带

6—软铜线　7—连接管　8—半导体布带　9—屏蔽铝箔　10—镀锡铜线

表 10-44　6kV 分相屏蔽塑料电缆中间接头尺寸

电缆截面积 /mm^2	各部分尺寸/mm								
	A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*H*	*J*	*M*
35	80	10	20	30	80	520	14	34	74
50	84	10	20	30	80	530	16	36	78
70	90	10	20	30	80	550	18	38	83
95	100	10	20	30	80	560	21	41	89
120	105	15	25	30	90	650	23	43	94
150	105	15	25	30	90	680	25	45	98
185	110	15	25	30	90	710	27	47	102
240	120	15	25	30	90	710	31	51	110

注：表中 *H* 为压接管外径，*M* 为三芯恢复原形后尺寸，*J* 为每芯绝缘包缠直径。

表 10-45　10kV 分相屏蔽塑料电缆中间接头尺寸

电缆截面积 /mm^2	各部分尺寸/mm								
	A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*H*	*J*	*M*
35	80	10	25	40	100	640	14	42	91
50	84	10	25	40	100	650	16	44	95
70	90	10	25	40	100	670	18	46	100
95	100	10	25	40	100	690	21	49	106
120	105	15	30	40	110	780	23	51	111
150	105	15	30	40	110	820	25	53	115
185	110	15	30	40	110	850	27	55	120
240	120	15	30	40	110	910	31	59	128

注：表中 *H* 为压接管外径，*M* 为三芯恢复原形后尺寸，*J* 为每芯绝缘包缠直径。

塑料电缆中间接头的制作工艺如下：

1）电缆切割。套上塑料盒，盒体两端盖分别套在两端电缆上。把要连接的电缆调直，重叠 100～200mm，而后在中间锯断。

2）剥切电缆。按图 10-23 和表 10-44、表 10-45 所示尺寸剥除电缆护层，电缆的布带及填充黄麻暂时卷到电缆根部，在相反方向卷起来。在预计的屏蔽带切断处（长度为 $A/2+B+C+D+E$）用铜绑线扎紧，而后把屏蔽带剥除并切断，切口尖角应向外反折。绝缘外半导体布带剥离并卷到根部，以备后用。

3）导体压接。将电缆绝缘按图 10-23 所示（$A/2+B$）长度剥除，端部削成反应力锥（俗称“铅笔头”），而后插入连接管压接。压接后锉平突起部分，并用汽油布擦净接管和绝缘表面。

4）包绕绝缘。先将压坑用环氧腻子填满，用半导体布带或半导体橡胶带将连接管和裸露线芯包缠一层，再用自粘橡胶带包缠，直至达到图 10-23 所示形状与尺寸。再将两边的半导体布带紧密而又完整无隙地缠包在整个绝缘表面。

5）包绕屏蔽层。用厚度约 0.1mm 的铝箔以半搭盖方式平滑紧密地卷绕在半导体布带上，并使其与电缆两端的铜屏蔽带有 20mm 的重叠。再用镀锡铜线将其两端扎紧，并用软铜线在整个屏蔽上交叉缠绕，将铜线交叉处及两端与铜扎线接触处焊好。其外包两层塑料粘胶带，再外包一层白布带。

6）三芯合并恢复原形。将已包好绝缘的线芯并拢，以黄麻等填充，使之恢复原有形状，并用宽布带包缠扎紧。

7）装配塑料盒。若不灌胶，恢复原形后，以半搭式包缠两层塑料粘胶带作为防水密封层，然后将置于一端的塑料盒位置移正，旋紧螺盖。若灌胶，在塑料盒装好后，在一端浇注口灌 1 号沥青胶或低温绝缘树脂，待另一端浇注口冒出即可。也可不装塑料盒，恢复原形后用自粘橡胶带包缠，其外再用塑料粘胶带包缠 2 ~3 层即可。

对于 3kV 及以下和 6kV 统包屏蔽塑料电缆，其中间接头的制作工艺与上述工艺基本相同，区别就在于屏蔽层的处理。6kV 统包屏蔽型电缆应在三芯并拢后包 0.1mm 铝箔作为屏蔽层，并与原电缆统包屏蔽层有 20mm 的重叠，用铜线扎紧；3kV 及以下电缆则不用作屏蔽层的处理。

五、热缩型电缆中间接头的制作

热缩型电缆中间接头分纸绝缘型和交联型两大类，前者适用于浸渍纸绝缘电缆，后者适用于塑料和交联电缆。两种类型中间接头在结构上的主要区别是前者有隔油管而后者没有。

交联电缆热缩型中间接头的制作工艺如下：

1）剥切电缆。按图 10-24a 量取所需尺寸剥去外护套，在距断口 50mm 的钢铠上扎绑线，其余钢铠剥除。保留 20mm 内护层，其余剥除并摘去填充物。

2）锯芯线、剥屏蔽层及半导层。按图 10-24b 所示尺寸对正芯线，在中点处锯断。自中心点向两端芯线各量 300mm，剥去其余铜屏蔽层，自铜屏蔽层断口起保留 20mm 半导层，其余剥除并清除芯线绝缘体表面半导电质。

3）固定应力管、套入管材。在两侧各相芯线上分别套入应力管，搭接铜屏蔽层 20mm，加热固定。在剥切电缆较长一端套入护套端头、密封套及护套筒部，每相芯线上套入绝缘管（2 根）、半导管（2 根）和铜网，在剥切较短一端套入护套端头及密封套。

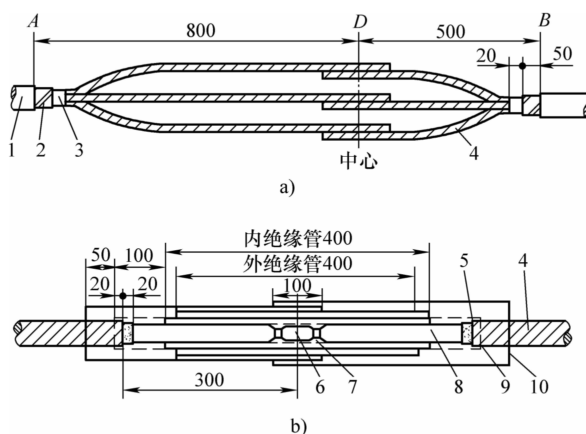


图 10-24　交联电缆热缩型中间接头安装示意图

a）剥切尺寸　b）单相接头套管安装

1—外护层　2—钢铠　3—内护套　4—铜屏蔽层　5—半导层　6—连接管　7—填充胶带　8—线芯绝缘　9—应力管　10—半导电管

4）压接连接管。在芯线端部量取 1/2 连接管长加 5mm，切除绝缘体。由绝缘体断口量取 35mm，削成 30mm 长的锥体，留 5mm 半导层。按照基本操作工艺进行连接管的压接。

5）缠半导带，包绕填充胶带，固定内、外绝缘管。在连接管上包半导电带，并与两端半导层搭接。在连接管两端的锥体之间包绕填充胶带，厚度不小于 3mm，锥体部位应填平。

将内绝缘管套在两端应力管之间，由中间向两端加热固定。再将外绝缘管套在内绝缘管的中心位置上，加热固定。

6）固定半导管，安装屏蔽网及地线。将两根半导管套在绝缘管上，两端搭接铜屏蔽层各 50mm，依次由两端向中间加热固定。用屏蔽网连通两端铜屏蔽层，端部绑扎焊牢。用地线旋绕扎紧芯线，两端在钢铠上绑紧焊牢，并在两侧屏蔽层上焊牢。

7）固定护套。将两端的护套端头与护套筒部安装好，两端绑扎在钢铠上。将密封套套在护套端头上，两端各搭接筒部和电缆外护套 100mm，加热固定。

六、热缩型电缆终端头的制作

热缩型电缆终端头是由辐射交联热收缩材料制成的电缆附件，具有体积小、质量轻、实用性强和安装方便等特点，适用于交联、塑料和浸渍纸绝缘等各种电缆。目前已有 35kV 及以下适用于各种电缆的热缩型户内、户外终端头和中间接头等电缆附件。热缩型电缆附件分纸绝缘电缆型和交联电缆型两大类，前者适用于浸渍纸电缆，后者适用于交联和塑料电缆。两种类型电缆附件在结构上的主要区别在于，纸绝缘型有隔油管而交联型没有。图 10-25 所示为户外交联电缆热缩型终端头。

交联电缆热缩型终端头的制作工艺如下：

1）剥切电缆和焊地线。根据终端头支架与连接设备之间的距离决定剥切外护套的尺寸。在外护套切断口 30mm 处扎绑线，剥除其余钢铠。自钢铠断口处起，保留 20mm 内护层，其余剥除。摘除内部填充物，将三相线芯分开。磨光钢铠上焊接地线的部位，用地线连通每相铜屏蔽层和钢铠并焊牢。

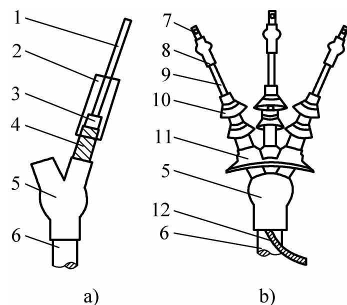


图 10-25 户外交联电缆热缩型终端头

a）应力管的安装 b）户外终端头

1—线芯绝缘 2—应力管 3—半导层 4—铜屏蔽层 5—手套 6—外护层 7—线鼻子 8—密封管 9—绝缘管 10—单孔防雨裙 11—三孔防雨裙 12—接地线

2）包绕填充胶带、固定手套。在三叉口根部包绕填充胶带，形似橄榄状，最大直径为电缆外径加 15mm。将手套套入三叉口根部，由手指根部开始，依次向两端加热固定。

3）剥铜屏蔽层、固定应力管。自手套指端开始，保留 55mm 铜屏蔽层，其余剥除。再自铜屏蔽层断口开始保留 20mm 半导电层，其余剥除。

4）固定应力管、装线鼻子。按图 10-25 所示给每相芯线套入应力管，与铜屏蔽层搭接长度为 20mm，加热固定。接线鼻子孔深加 5mm 剥去线芯绝缘，端部削成“铅笔头”状。线鼻子压接好以后，在“铅笔头”处包绕填充胶带，并搭接线鼻子 10mm。

5）固定绝缘管和相色管。套入绝缘管至三叉口根部，管上端超出填充胶 10mm，由根部起加热固定。再套相色管并加热固定，方法与纸绝缘终端头相同。

至此户内头安装完毕，户外头再套入三孔和单孔防雨裙并加热固定。

热缩型电缆头的施工，加热工具一般采用焊枪式丙烷火焰环形电炉，也可用喷灯加热。由于喷灯火力较猛，使用时应特别小心，火力不能集中一点，必须在套管表面迅速移动，并保持足够的距离，避免过热使套管变质。加热时应从热缩管的中部均匀加热向两端收缩，以利于管内残留空气的排出。

七、冷缩型交联电缆头的制作

冷缩电缆附件采用进口硅橡胶材料制造而成，不但具有十分优良的电气性能，而且还具有优异的防水性、高弹性、使用寿命长及恒定的收缩压力等物理特性。冷缩电缆附件是将弹性橡胶在弹性范围内预先支撑开，套入塑料线芯加入固定。安装时，只需轻轻抽取芯绳，就能自动收缩复位，弹性体便迅速收缩并紧箍于电缆本体上。采用特制的专用密封胶粘接各连接部位，实现整体密封，其安装非常方便，省时省工，且性能优越，已逐渐被业内人士所认同。

电缆头的型号规格见表 10-46。

表 10-46　电缆头的型号规格

产 品 型 号	导体截面/mm^2	绝缘外径/mm	A(户外)/mm	A(户内)/mm
TYW(N)LS3/1	25 ~ 50	16 ~ 20	750	690
TYW(N)LS3/2	70 ~ 150	20 ~ 25	750	690
TYW(N)LS3/3	185 ~ 400	26 ~ 35	1160	1100
TYW(N)LS3/4	400 以上	35 ~ 45	1160	1100

注：表中 A 为电缆开剥长度。

第七节　架空线路运行维护

一、架空线路的巡视检查

1）杆塔。检查杆塔是否倾斜，螺栓有无松动，混凝土杆有无裂纹、钢筋外露，周围土壤有无挖掘或沉陷，杆塔标志是否齐全。

2）横担及金具。检查铁横担有无锈蚀、歪斜、变形，金具有无锈蚀、螺栓是否紧固。

3）绝缘子。检查绝缘瓷件有无脏污、损伤、裂纹和闪络，铁脚是否锈蚀。

4）导线。检查①导线有无断股损伤及腐蚀等现象；②弛度是否平衡，有无过紧或过松等现象；③接头是否良好，有无发热现象；④过引线有无损伤断股，与杆塔等空气间隙是否符合规定；绑扎线或并沟线夹、跳线线夹有无发热变形等现象。

5）检查防雷设施及接地装置是否完好。

6）检查拉线、顶杆及拉线柱。拉线有无锈蚀，拉线绝缘子是否损坏或缺少，拉线、顶杆及拉线柱是否妨碍交通或易被车辆碰撞，拉线棒、抱箍有无变形，拉线基础是否缺土松动。

7）接户线。检查绝缘子有无破损，支撑物是否牢固，有无腐蚀、损坏等现象，导线有无混线等现象。

8）沿线情况。沿线对公路、河流、建筑物等距离是否符合安全规定。查明防护区内的植物及树木对导线的距离是否符合规定。

二、架空线路的运行维护

1. 定期维修

维修是一种规模较小的检修项目，一般每年一次，通常是为了处理某些直接影响安全的线路和设备。维修工作包括以下内容：

1）更换个别损坏的电杆和横担。

2）扶正严重歪斜的电杆和横担。

3）修补个别损伤的导线和接头。

4）更换个别绝缘子。

2. 日常维护

日常维护是一种经常性的运行工作，维护工作没有固定周期，它随线路运行情况而定，与气候有密切关系。维护工作有以下项目：

1）剪除距线路较近的树木。

2）夯实电杆基础土壤。

3）清理线路附近的障碍物。

4）调整拉线。

三、架空线路运行维护时注意事项

1）架空线路，单人巡视时禁止攀登电杆。

2）事故巡线时，应始终认为线路带电，发现导线断落地面或悬吊空中时，应设法防止行人靠近断线地点 8m 以内。

3）砍伐靠近线路的树木时，树木、绳索不得接触导线，人和绳索等应与导线保持安全距离，砍伐时应采取措施防止树木倒在线路上，必要时可将线路停电后再砍伐树木。

4）线路检修时，应严格执行部颁《电业安全工作规程》中的有关规定，防止自发电和双电源用户向工作线路上倒送电。

5）在邻近带电线路设备上工作时，工作人员活动范围的距离必须大于规程的规定。

6）验电时，必须采用电压等级合适且合格的验电器，验电应逐相进行。

7）严格执行线路停电检修的组织措施和技术措施。

四、线路故障处理

1. 倒杆断线故障处理

10/0. 4kV 配电线路一旦发生倒杆断线故障，首先应将故障线路停电，运行维护人员及时赶到事故现场进行检查，设置安全围栏，注意事故现场行人安全。

2. 线路保护动作跳闸事故处理的原则

1）线路保护动作跳闸时，运行值班人员应认真检查保护及自动装置动作情况，检查故障录波动作情况，分析保护及自动装置的动作行为。

2）及时向调度及单位领导汇报，便于调度及时、全面地掌握情况，进行分析判断。

3）线路保护动作跳闸，无论重合闸装置是否动作或重合成功与否，均应对断路器进行外部检查。主要检查断路器有无异常情况。

4）凡线路保护动作跳闸，应检查断路器所连接设备、出线部分有无故障现象。

5）充电运行的输电线路、跳闸后一律不试送电。

6）全电缆线路（或电缆较长的线路）保护动作跳闸以后，未查明原因不能试送电。

7）断路器遮断容量不够、事故跳闸次数累计超过规定，重合闸装置退出运行，保护动作跳闸后，一般不能试送电。

3. 线路跳闸时的处理方法

线路跳闸时，运行人员应当首先查明：

1）哪些保护或自动装置动作。

2）断路器是否重合成功。

3）该线路是否仍有电压。

4）有无故障录波。

5）事件打印、中央信号、保护屏信号是否正确。

6）微机保护打印是否有报告。

7）到现场检查断路器的实际位置，无论断路器重合与否，都应检查断路器及线路侧所有设备有无短路、接地、闪络、断线、瓷件破损、爆炸、喷油等现象。

8）事故处理完毕后，运行人员要做好详细的事故障碍记录、断路器跳闸记录等，并根据断路器跳闸情况、保护及自动装置的动作情况、事件记录、故障录波、微机保护打印以及处理情况整理详细的现场事故报告。

第八节 电缆的运行维护与试验

一、电缆的运行

电缆运行时，巡视检查应注意以下几点：

1）敷设在土中、竖井内、隧道中以及沿桥梁架设的电缆，应定期进行巡视检查。查看线路场地情况，以防外力破坏。

2）电缆终端头，可根据运行情况停电检查，并加强污秽地区的电缆终端头的巡视与清扫。

3）敷设在地下的电缆线路，应查看地面标志是否完好，有无挖掘暴露的电缆，如有此种情况应加强巡视，并采取保护措施。

4）电缆线路上不应堆置建筑材料，酸性排放物等。

5）对于户外与架空线连接的电缆应该检查终端头是否清洁，有无发热、放电、漏液等现象，引出线的连接点有无发热现象和电缆铅包有无龟裂漏油，靠近地面一段电缆是否被碰撞等。

6）多根电缆并列运行要检查电流分配和电缆外皮的温度情况，防止电缆过负荷，原则上不允许过负荷运行。

7）检查隧道内或电缆沟内的电缆位置是否正常，接头有无变形漏油，温度是否正常，通风、排水等设施是否完善。

8）敷设在房屋内、隧道内和不填土的电缆沟内的电缆要特别检查防火设施是否完善。室外与室内电缆沟之间的封堵墙是否完好。

二、电缆的维护

1）为防止在电缆线路上面挖掘损伤电缆，挖掘时必须有电缆专业人员在现场监护，交待施工人员有关注意事项。特别是在揭开电缆保护板后，应使用较为迟钝的工具将表面土层轻轻挖去，用铲车挖土时更应随时注意，不要铲伤电缆。

2）清扫户内外电缆、瓷套管和终端头，检查终端头内有无水分，引出线接触是否良好，接触不良者应予以处理。清扫涂装电缆支架和电缆夹，修理电缆保护管，测量接地电阻和电缆的绝缘电阻等。

3）清除隧道及电缆沟的积水、污泥及其他杂物，保证沟内清洁，不积水。

4）当电缆线路上的局部土壤含有能损害电缆铅包的化学物质时，应将该段电缆装于管子中，并用中性的土壤作电缆的衬垫及覆盖，在电缆上涂以沥青等，以防止电缆被腐蚀。

5）电缆线路发生故障后，必须立即进行维修，以免拖延时间太长使水分大量浸入，而扩大损坏的范围。

6）按规程规定进行预防性试验，发现问题及时处理。

三、电缆的故障处理

1. 电缆的常见故障

1）接地故障。电缆一芯或多芯接地。

2）短路故障。电缆两芯或三芯短路。

3）断线故障。电缆一芯或多芯被故障电流烧断或外力破坏所致，形成完全或不完全断线。

4）闪络性故障。这种故障大多数在预防性试验中发生，并多出现在电缆中间接头和终端头。故障现象是当所加电压升至某一数值时击穿，电压降至某一数值时绝缘又恢复。

2. 电缆故障的处理

1）查找电缆故障部分，一般是先用绝缘电阻表测量绝缘电阻和做直流耐压试验并测量泄漏电流，来测试缆芯对地或缆芯间绝缘状况，以发现电缆故障。然后用故障探测仪找出故障点，切除故障部分。

2）切除电缆故障部分后，必须进行电缆绝缘的潮气试验和绝缘电阻试验。

3）电缆故障修复后，必须核对相位，并做耐压试验，经试验合格后，方可恢复运行。

4）无论电缆是在运行中或试验时发现的故障，其故障部位割除后应妥善保存，以便进行研究与分析，采取反事故对策。

5）维修电缆线路故障，必须填写故障测试记录。

四、电缆试验

纸绝缘、橡塑绝缘的电缆预防性试验，一般只作绝缘电阻、直流耐压试验。橡塑绝缘电力电缆是指聚氯乙烯绝缘、交联聚乙烯绝缘和乙丙橡皮绝缘电力电缆。低绝缘电力电缆试验项目，适用于粘性油纸绝缘电力电缆和不滴流油纸绝缘电力电缆。

1. 电缆绝缘电阻试验注意事项

1）测量绝缘电阻的方法适用于不太长的电缆。测量时一般用绝缘电阻表测量并算出吸收比，在同样测试条件下，电缆绝缘越好，吸收比值越大。

2）电缆的绝缘电阻值一般不作具体规定，判断电缆绝缘情况应与原始记录进行比较。由于温度对电缆绝缘电阻值有所影响，所以在做电缆绝缘测试时应将气温、湿度等天气情况做好记录，以备比较时参考。

3）使用的绝缘电阻表：1kV 以下电压等级的电缆用 500 ~1000V 绝缘电阻表；1kV 及以上电压等级的电缆用 1000 ~2500V 绝缘电阻表。

4）试验前电缆要充分放电并接地，方法是将导电线芯及电缆金属护套接地。

5）测试前应将电缆终端头套管表面擦净，以减小表面泄漏。用电缆另一绝缘线芯作为

屏蔽回路，将该绝缘线芯两端的导体用金属软线接到被测试绝缘线芯的套管或绝缘上并缠绕几圈，再引接到绝缘电阻表的屏蔽端子上，如图 10-26 所示。

6）每次测完绝缘电阻后都要将电缆放电、接地。电缆线路越长，绝缘状态越好，则接地时间也要长些，一般不少于 1min。

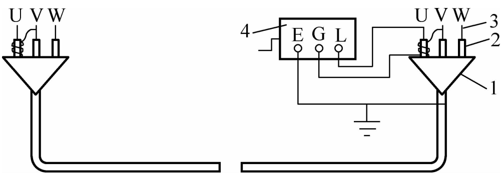


图 10-26　测量绝缘电阻的接线方法

1—电缆终端头　2—套管或绕包的绝缘

3—线芯导体　4—绝缘电阻表

2. 直流耐压试验和泄漏电流测量

直流耐压试验是电缆工程交接或预防性试验的最基本试验，也是判断电缆线路能否投入运行的最基本依据。运行电缆应定期进行直流耐压试验，同时要测量泄漏电流。直流耐压试验标准见表 10-47。

表 10-47　直流耐压试验标准

电缆类型	额定电压 U_0/U/kV	试验电压/kV	试验时间/min
纸绝缘电力电缆	1.0/3	12	5
	6/10	40	
	21/35	105	
	26/35	130	
橡塑绝缘电力电缆	1.8/3	11	5
	6/10	25	
	21/35	63	

注：U_0 为电缆导体与金属套或金属屏蔽之间的设计电压；U 为导体与导体间的设计电压。

进行直流耐压试验时要测量泄漏电流。要求加压时间为 5min，电缆不击穿，且 5min 测得的泄漏电流值不应大于耐压 1min 的泄漏电流值。纸绝缘电力电缆测得三相泄漏电流的不平衡系数不应大于 2。橡塑绝缘电力电缆，测得的电缆外护套绝缘电阻和电缆内衬层绝缘电阻，不得低于 0.5MΩ/km。

第十一章　电力测量仪表与电能计量装置

第一节　电力测量仪表

一、电力测量仪表的选择

1）电力测量仪表主要用于配电系统电量相关数据的监视与控制。根据不同的测量要求，可分别选择电压表、电流表、功率表、频率表、功率因数表。

2）农村低压配电装置一般可选用指针式电力测量仪表。厂矿企业及居民小区的 10kV 及以下配电装置，可选用具有可编程序的电子显示式仪表。

在 10kV 及以下配电系统中，常选用 P□系列可编程序电子显示式测量仪表，P□系列电力测量仪表的主要技术参数见表 11-1。

表 11-1　P□系列电力测量仪表的主要技术参数

名　　称		参　　数
准确度等级		显示准确度:0.5、0.2 级,频率表 0.2 级,变送精度:0.5 级
显示		4 位,另加符号位 LED 显示
输入	标称输入	电流 AC 1A、AC 5A、DC 20mA 等;电压 AC 100V、AC 220V、AC 380V、DC 75mV 等
	过量程	持续:1.2 倍,瞬时:电流 10 倍(5s),电压 2 倍(10s)
	频率	(1 ±10%)50/60Hz
电源	辅助电源	AC、DC 80 ~270V
	功耗	<4V · A
隔离耐压		电源与输入、变送输出、通信接口为 AC 2kV 输入、变送输出、通信接口两两间为 AC 1kV
绝缘电阻		≥100MΩ
平均无故障工作时间		≥5000h
工作条件		环境温度:-10 ~55℃,相对湿度≤93%,无腐蚀气体场所,海拔≤2500m
输出	模拟量	DC 4 ~20mA 电流输出时负载 <510Ω,DC 0 ~5V 电压输出时负载 >100kΩ
	数字量	RS-485 接口,Modbus-RTU 协议,波特率默认 4800(可选 2400、9600)bit/s

二、安装接线

1. 电流表的安装接线

直接测量电流时，应将电流表与被测回路串联；当负荷电流较大时，应安装电流互感器。电流表的安装接线原理如图 11-1 所示。

2. 电压表的安装接线

直接测量电压时，电压表与被测回路并联，可采用一只电压转换开关与一只电压表测量

0.4kV 三相三线电源线电压。测量10kV 电源电压时，应安装一台电压互感器与一只电压表。电压表的安装接线原理如图 11-2 所示。

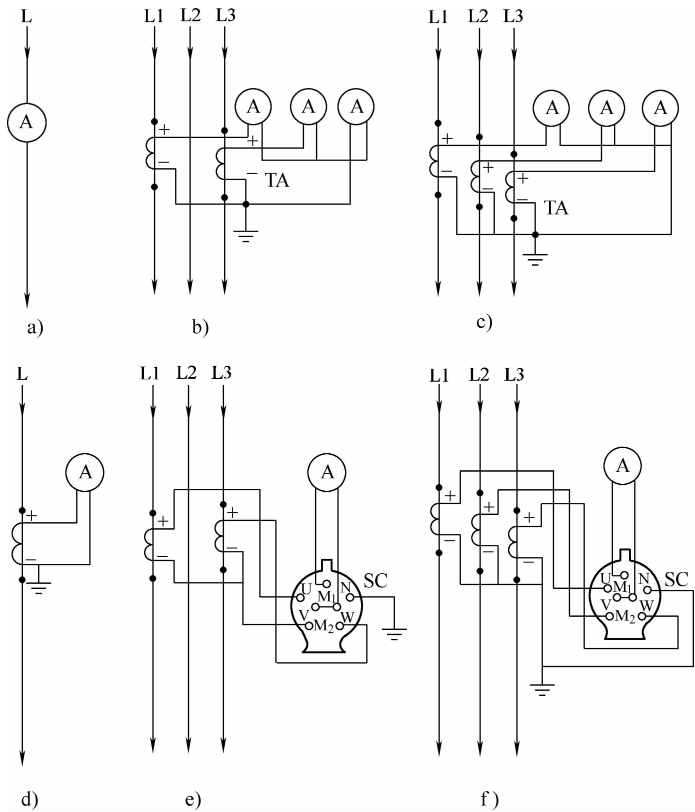


图 11-1　电流表的安装接线原理图

a）直接测量　b）两台电流互感器与三只电流表　c）三台电流互感器与三只电流表

d）一台电流互感器与一只电流表　e）两台电流互感器与一只电流表经一只电流转换开关

f）三台电流互感器与一只电流表经一只电流转换开关

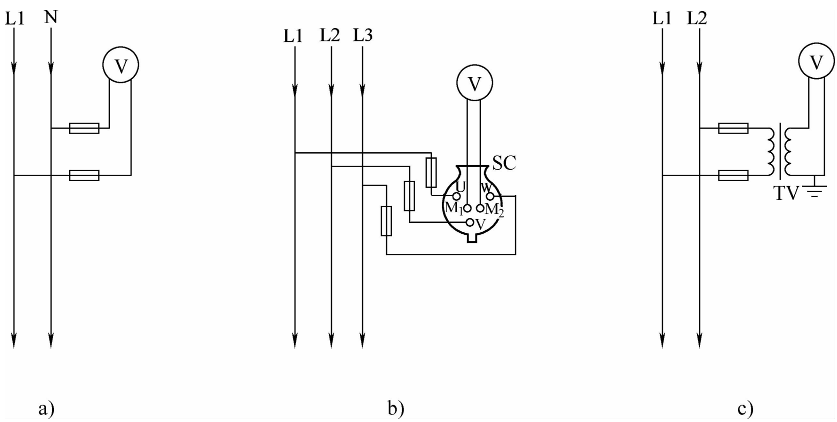


图 11-2　电压表的安装接线原理图

a）直接测量　b）一只电压转换开关与一只电压表　c）一台电压互感器与一只电压表

第二节　电能计量原理

一、单相有功电能表

单相有功电能表接线原理如图 11-3a 所示。

单相有功电能表计量单相用电设备的用电量。电能表的电流线圈①、③串接在电流回路中，电压线圈②、④并接在相电压回路中，电能计量功率相量如图 11-3b 所示。

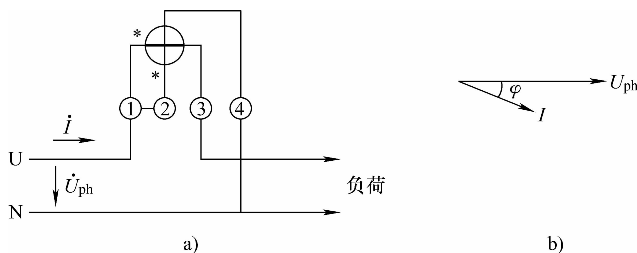


图 11-3　单相有功电能表接线原理

a）接线原理图　b）相量图

电能表计量到的功率为

$$P = U_{ph} I \cos\varphi \tag{11-1}$$

式中，P 为有功功率，单位为 kW；U_{ph} 为相电压，单位为 kV；I 为电流，单位为 A；$\cos\varphi$ 为功率因数。

二、三相三线有功电能表

三相三线有功电能表接线原理如图 11-4a 所示。

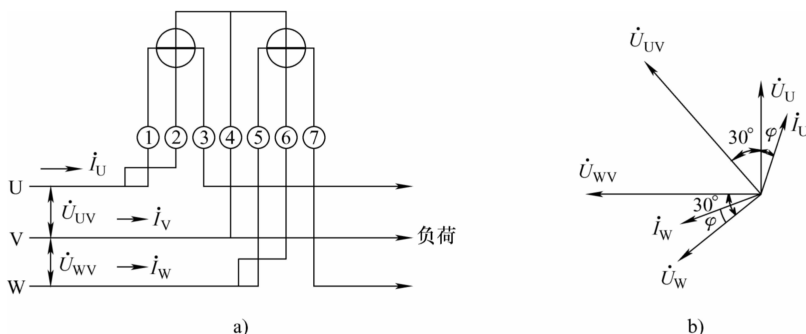


图 11-4　三相三线有功电能表接线原理

a）接线原理图　b）相量图

三相三线两元件电能表的电流线圈①与③串接在 U 相电流回路中，电流线圈⑤与⑦串接在 W 相电流回路中。电压线圈②接 U 相，电压线圈⑥接 W 相，电压线圈公共接头④接 V 相。

电能表计量功率相量如图 11-4b 所示。

电能表 U 相计量列的功率为

$$\begin{aligned} P_U &= U_{UV} I_U \cos(30° + \varphi) \\ &= U_{UV} I_U (\cos30°\cos\varphi - \sin30°\sin\varphi) \\ &= U_{UV} I_U \cos30°\cos\varphi - U_{UV} I_U \sin30°\sin\varphi \end{aligned}$$

电能表 W 相计量到的功率为

$$\begin{aligned} P_W &= U_{WV} I_W \cos(30° - \varphi) \\ &= U_{WV} I_W (\cos30°\cos\varphi + \sin30°\sin\varphi) \\ &= U_{WV} I_W \cos30°\cos\varphi + U_{WV} I_W \sin30°\sin\varphi \end{aligned}$$

电能表计量列的功率为：

$$\begin{aligned} P &= P_{U} + P_{W} = U_{UV}I_{U}\cos30°\cos\varphi - U_{UV}I_{U}\sin30°\sin\varphi + \\ &\quad U_{WV}I_{W}\cos30°\cos\varphi + U_{WV}I_{W}\sin30°\sin\varphi \\ &= 2U_{L}I_{L}\cos30°\cos\varphi \\ &= \sqrt{3}U_{L}I_{L}\cos\varphi \end{aligned} \tag{11-2}$$

三、三相四线有功电能表

三相四线有功电能表用于计量三相及单相用电负荷的电量，由三个电流元件和三个电压元件组成。电能表接线原理如图 11-5 所示。电能表三个电流原件分别串接 U、V、W 相的三相四线电能表计量列的功率为

$$\begin{aligned} P &= P_{W} + P_{U} + P_{W} \\ &= U_{Uph}I_{Uph}\cos\varphi + U_{Vph}I_{Vph}\cos\varphi + U_{Wph}I_{Wph}\cos\varphi \\ &= 3U_{ph}I_{ph}\cos\varphi \end{aligned} \tag{11-3}$$

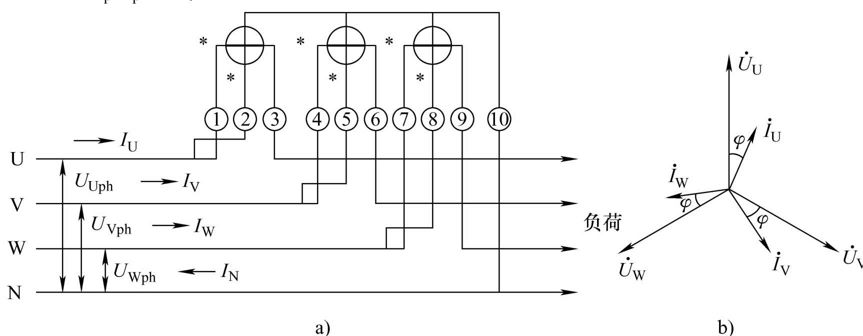


图 11-5　三相四线电能表接线原理

a）接线原理图　b）相量图

四、无功电能表

1. 单相无功电能表

单相无功电能表接线原理如图 11-6 所示。

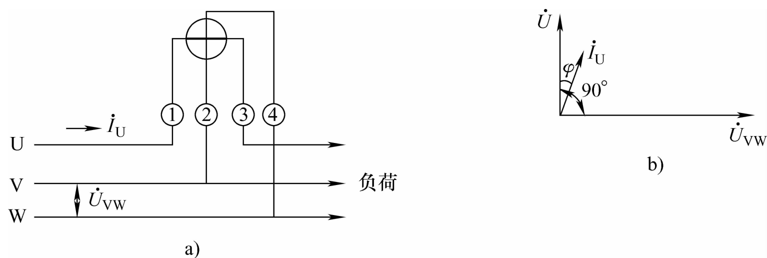


图 11-6　单相无功电能表接线原理

a）接线原理图　b）相量图

单相无功电能表计量列的无功功率为

$$Q = U_{L}I_{L}\cos(90° - \varphi) = U_{L}I_{L}\sin\varphi \tag{11-4}$$

式中，Q 为无功功率，单位为 kvar；U_{L} 为线电压，单位为 kV；I_{L} 为线电流，单位为 A。

2. 三相无功电能表

DX2 型 60°相位差的三相无功电能表原理接线如图 11-7a 所示。

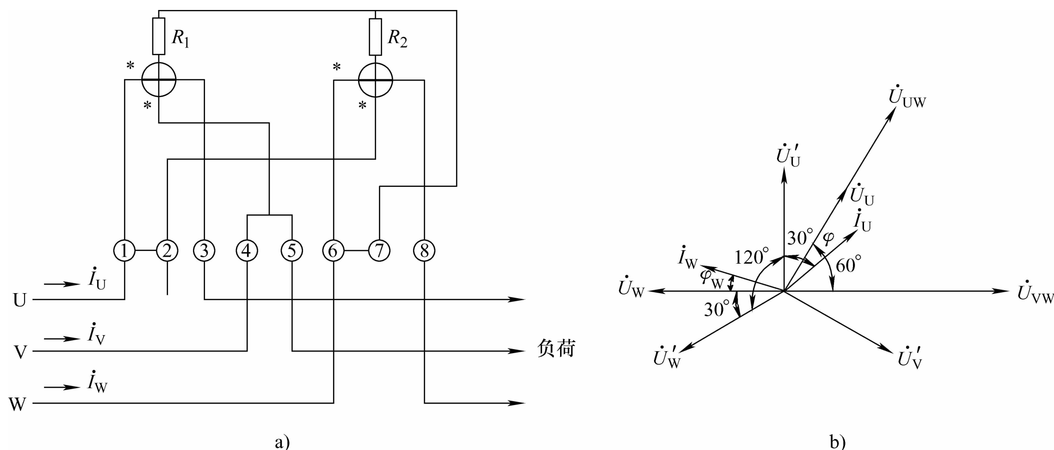


图 11-7　DX2 型 60°相位差的三相无功电能表原理接线

a）接线图　b）相量图

无功电能表在电压线圈上串联接入电阻 R_1 和 R_2，使电压线圈上流过的电流 I_U 不是滞后电压 U90°，而是滞后电压 U60°，即电压线圈产生的磁通 φ_U 与电流线圈产生的磁通 ϕ_I 之间的相位差不是 90°，而是 60°。电能表的第一个元件接入 U 相电流 I_U 和 VW 相间电压 U_{VW}，第二个元件接入 W 相电流 I_W 和 U_W 相间电压 U_{UW}，其相量关系如图 11-7b 所示。

第一个元件计量的电能为

$$\begin{aligned}W_1 &= U_{VW}I_U\cos[90° - (30° + \varphi_U)]\\ &= U_{VW}I_U\cos(60° - \varphi_U)\\ &= \frac{1}{2}U_{VW}I_U\cos\varphi_U + \frac{\sqrt{3}}{2}U_{VW}I_U\sin\varphi_U\end{aligned}$$

第二个元件计量的电能为

$$\begin{aligned}W_2 &= U_{UW}I_W\cos[150° - (30° + \varphi_W)]\\ &= U_{UW}I_W\cos(120° - \varphi_W)\\ &= -\frac{1}{2}U_{UW}I_W\cos\varphi_W + \frac{\sqrt{3}}{2}U_{UW}I_W\sin\varphi_W\end{aligned}$$

当三相电路完全对称时,有

$$U_{UV} = U_{VW} = U_{WU} = U$$
$$I_U = I_V = I_W = I$$
$$\varphi_U = \varphi_V = \varphi_W = \varphi$$

电能表计量的无功电量为

$$\begin{aligned}Q &= W_1 + W_2 = \frac{1}{2}U_{VW}I_U\cos\varphi_U + \frac{\sqrt{3}}{2}U_{VW}I_U\sin\varphi_U - \frac{1}{2}U_{UW}I_W\cos\varphi_W + \frac{\sqrt{3}}{2}U_{UW}I_W\sin\varphi_W\\ &= 2\times\frac{\sqrt{3}}{2}UI\sin\varphi = \sqrt{3}UI\sin\varphi \qquad (11\text{-}5)\end{aligned}$$

五、电能表的电能计量

电能表的电能计量为

$$W_P = Pt \quad (11\text{-}6)$$

$$W_Q = Qt \quad (11\text{-}7)$$

式中，W_P 为有功电量，单位为 kW · h，W_Q 为无功电量，单位为 kvar · h；P 为有功负荷，单位为 kW；Q 无功负荷，单位为 kvar；t 为用电时间，单位为 h。

在运行中的电能表，随时计量用电量。

第三节　电能表的选择

一、电能表的选择原则

1）选择电子式电能表。

2）根据用电负荷分类选择电能表，单相用电负荷选择单相电能表，三相三线用电负荷选择三相三线电能表，三相四线用电负荷选择三相四线电能表。

3）根据用电负荷的大小，选择直接接入式电能表，或经电流互感器接入的电能表。直接接入式电能表的标定电流应按正常运行负荷电流的 30% 左右进行选择。经电流互感器接入的电能表，其标定电流宜不超过电流互感器额定二次电流的 30%，其额定最大电流应为电流互感器额定二次电流的 120% 左右。

4）为提高低负荷计量的准确性，应选用过载 4 倍及以上的电能表。

5）执行功率因数调整电费的用户，应安装能计量有功电量、感性和容性无功电量的电能计量装置；按最大需量计收基本电费的用户，应装设具有最大需量计量功能的电能表。实行分时电价的用户应装设复费率电能表或多功能电能表。

6）带有数据通信接口的电能表，其通信规约应符合 DL/T645—2007《多功能电能表通信规约》的要求。

7）各类电能计量装置所用电能表的准确度等级见表 11-2。

表 11-2　电能计量装置所用电能表的准确度等级

配电变压器容量/kV · A	准确度等级	
	有功电能表	无功电能表
2000,2500	0.5S 或 0.5	2.0
315 及以上	1.0	2.0
315 及以下	2.0	3.0
单相负荷	2.0	

二、单相电能表

1. DDS720/721-C 型单相电子式电能表

DDS720/721-C 型单相电子式电能表适用于城乡居民单相用电用户电能计量。计量有功电能，LCD 显示，具有实时时钟和 RS-485 通信接口。其技术参数见表 11-3。

表 11-3　DDS720/721-C 型单相电子式电能表的技术参数

型　　号		DDS 720-C	DDS 721-C
等级	有功	1	2
显示器		LCD	
额定电压		220V	
标定(最大)电流		2.5(10)A　5(20)A　5(30)A　10(40)A　10(60)A　15(60)A　20(80)A	
功耗	电压线路	<1.4W/6V·A	
	电流线路	<1V·A	
工作温度		−25 ~ 55℃	
极限工作温度		−40 ~ 70℃	
相对湿度		≤85%	
电压范围		$(0.7 \sim 1.3)U_n$	
参比频率		50/60Hz	
起动电流		$0.004I_b$	
时钟误差		≤0.5s/d(23℃)	

2. DDSF720/721 型单相电子式多费率电能表

DDSF720/721 型单相电子式多费率电能表适用于城乡居民单相用电分时电能计量，LCD 显示。单相分时电能计量功能，3 种费率、12 个时段。其技术参数见表 11-4。

表 11-4　DDSF720/721 型单相电子式多费率电能表的技术参数

型　　号		DDSF 720	DDSF 721
等级	有功	1	2
显示器		LCD	
额定电压		220V	
标定(最大)电流		2.5(10)A　5(20)A　5(30)A　10(40)A　20(80)A	
功耗	电压线路	<1W/6V·A	
	电流线路	<1V·A	
工作温度		−25 ~ 55℃	
极限工作温度		−40 ~ 70℃	
相对湿度		≤85%	
电压范围		$(0.7 \sim 1.3)U_n$	
参比频率		50/60Hz	
起动电流		$0.004I_b$	
时钟误差		≤0.5s/d(23℃)	

三、三相电能表

1. DSS/DTS720 型三相电子式有功电能表

DSS/DTS720 型三相电子式有功电能表的主要功能：计量正、反向三相有功电量；三相

电源供电，只要有一相电压即可正常工作；有功电能脉冲由 LED 和光耦输出；断相指示，功率反向指示。普通三相电力用户用电能表的功能有功电能计量，计度器显示。其技术参数见表 11-5。

表 11-5　DSS/DTS720 型三相电子式有功电能表的技术参数

型　号		DSS/DTS 720
等级	有功	1
显示器		计度器
额定电压		3×100V　3×57.7~100V　3×220/380V
标定(最大)电流		互感器接入式:3×1(2)A　3×1(4)A　3×1.5(6)A　3×5(6)A 直接接入式:3×5(20)A　3×10(40)A　3×15(60)A　3×20(80)A
功耗	电压线路	<1W/2V·A
	电流线路	<1V·A
工作温度		-25~55℃
极限工作温度		-40~70℃
相对湿度		≤85%
电压范围		$(0.7\sim1.3)U_n$
参比频率		50/60Hz
起动电流		直接接通 $0.004I_b$　经互感器 $0.002I_n$

2. DXS720/721 型三相电子式无功电能表

DXS720/721 型三相电子式无功电能表计度器显示，计量三相无功电量，主要用于普通三相电力用户的无功电能计量。其技术参数见表 11-6。

表 11-6　DXS720/721 型三相电子式无功电能表的技术参数

型　号		DXS720　DXS721
等级	无功	2、3
显示器		计度器
额定电压		DXS721:3×100V　DXS720:3×57.7/100V　3×220/380V
标定(最大)电流		互感器接入式:3×1(2)A　3×1(4)A　3×1.5(6)A　3×5(6)A 直接接入式:3×5(20)A　3×10(40)A　3×15(60)A　3×20(80)A
功耗	电压线路	<1W/2V·A
	电流线路	<1V·A
工作温度		-25~55℃
极限工作温度		-40~70℃
相对湿度		≤85%
电压范围		$(0.7\sim1.3)U_n$
参比频率		50/60Hz
起动电流		直接接通 $0.004I_b$　经互感器 $0.002I_n$

3. DTSY720 型三相电子式预付费电能表

DTSY720 型三相电子式预付费电能表适用于实行先买电后用电结算方式的三相电力用户，也可用于负荷控制。电能表计量正反向有功电能，反向电能计入正向。当用户负荷超过供电部门设定的最大允许负荷时，提醒用户减小负荷。当电能表剩余电量（金额）小于或等于报警电量（金额）时以声光方式提醒用户，当电能表剩余电量（金额）为零或达到约定值时自动切断电源。电能表以 IC 卡为介质，与 IC 卡售电终端、售电终端管理系统及中心计算机构成用电管理信息系统。采用数据加密，一表一卡、一卡一密，安全可靠。其技术参数见表 11-7。

表 11-7　DTSY720 型三相电子式预付费电能表的技术参数

型　号		DTSY720
等级	有功	1
预付费卡		IC 卡
额定电压		3×220/380V
标定(最大)电流		1.5(6)A　2.5(10)A　5(20)A　5(30)A　10(40)A　20(80)A
功耗	电压线路	<1W/4V·A
	电流线路	<1V·A
工作温度		-25～55℃
极限工作温度		-40～70℃
相对湿度		≤85%
电压范围		$(0.7\sim1.3)U_n$
参比频率		50/60Hz
起动电流		$0.004I_b$

4. DSSF/DTSF720-BP 型三相电子式多费率电能表

DSSF/DTSF720-BP 型三相电子式多费率电能表分时计量正反向有功电量。预设 12 个时区、8 套日时段表、10 个日时段、4 种费率、30 个节假日，可根据用户需求灵活设置参数。使用长寿命、宽温度范围的 LCD，汉字显示；配有 RS-485 和红外通信接口，支持遥控按键；有功电能脉冲和实时时钟脉冲通过光耦隔离输出。主要用于各种需要分时计量的电力用户。其技术参数见表 11-8。

表 11-8　DSSF/DTSF720-BP 型三相电子式多费率电能表的技术参数

型　号		DSSF/DTSF720-BP
等级	有功	1
额定电压		3×100V　3×57.7/100V　3×220/380V
标定(最大)电流		互感器接入式:3×1(2)A　3×1(4)A　3×1.5(6)A　3×5(6)A 直接接入式:3×5(20)A　3×10(40)A　3×15(60)A　3×20(80)A
功耗	电压线路	<1W/2V·A
	电流线路	<1V·A

（续）

型　　号	DSSF/DTSF720-BP
工作温度	－25～55℃
极限工作温度	－40～70℃
相对湿度	≤85%
电压范围	$(0.7 \sim 1.3)U_n$
参比频率	50/60Hz
起动电流	直接接通 $0.004I_b$　　经互感器 $0.002I_n$
时钟误差	≤0.5s/d(23℃)

5. DSSD/DTSD719/720-B 型三相电子式多功能电能表

DSSD/DTSD719/720-B 型电能表主要用于大用户的电能计量。

（1） 主要功能

1）电能计量：分时计量正向有功、反向有功、正向无功、反向无功、四象限无功电能。正向无功和反向无功的电能计量方式可设置。能储存当月、上 1 月、上 2 月…上 12 月电量数据。

2）最大需量：分时计量正反向有功、正反向无功、四象限无功的最大需量及最大需量发生时间。

3）费率与时段：可设置 8 种费率、14 个时区、12 套日时段表、14 个时段。

4）实时测量：精确测量电压、电流、有功功率、无功功率、视在功率、功率因数、频率等用电参数。

5）监控记录：分别记录最近 10 次断相、失电压、全失电压、失电压、电流、电流不平衡、超功率、超需量、设置时钟、数据清零、需量清零、对时记录、编程、上下电、电能表开盖等事件的发生时刻、结束时刻及其他相关数据。

6）报警及跳闸：有 4 个可编程序的输出设备，它们分别是继电器、光耦、报警指示灯、蜂鸣器。每种设备均可以按用户编程方式输出。

7）电量冻结：可通过广播命令冻结所有电量，也可整点冻结，整点冻结时间用户可编程序。

8）停电抄表：自备独立抄表电池，可通过按键唤醒电能表抄表。可使用抄表器、遥控器通过非接触式红外通信唤醒电能表进行抄表。

9）通信接口：具备两个 RS-485 口和一个红外通信接口，三个通信接口完全独立，可以同时工作。通信规约符合 DL/T 645—2007《多功能电能表通信规约》或用户要求的其他规约。

10）负荷曲线：支持最多 32 类曲线，每类曲线可以以不同的时间间隔记录数据。最大存储空间 256KB。

11）电压合格率：分相记录最近 4 个月的电压超上限和超下限时间及电压合格率。

12）脉冲输出：具备有功脉冲、无功脉冲、时钟秒信号、需量周期结束、正向有功远动脉冲、反向有功远动脉冲、正向无功远动脉冲、反向无功远动脉冲等光耦脉冲输出。

（2）主要特点

1）备用时段参数：可在电能表中预设备用（第二套）时段参数及其生效时间，满足用户在将来某一设定时间同时更改所有在线运行电能表费率时段的需要。

2）海量数据存储器：最大存储空间可扩充至2MB。

3）实时时钟的高准确性：实时时钟具有温度补偿功能，确保高温、低温下的时钟误差优于0.5s/d。

4）最优的供电方式：电能表采用三相供电方式，任何一相有电即可维持电能表正常工作。

5）多样化的防窃电手段：有效监控PT回路、CT回路的非法窃电。多级铅封、多级密码、多个开关量的检测，有效识别对电能表参数的非法设置。

（3）DSSD/DTSD719/720-B 型三相电子式多功能电能表的技术参数（见表11-9）

表 11-9　DSSD/DTSD719/720-B 型三相电子式多功能电能表的技术参数

型　号		DSSD/DTSD 719-B	DSSD/DTSD 720-B
等级	有功	0.5S	1
	无功	2	2
额定电压		3×100V　3×57.7/100V　3×220/380V	
标定（最大）电流		互感器接入式：3×1(2)A　3×1(4)A　3×1.5(6)A　3×5(6)A 直接接入式：3×5(20)A　3×10(40)A　3×15(60)A　3×20(80)A	
功耗	电压线路	<1.5W/3V·A	
	电流线路	<1V·A	
工作温度		−25～55℃	
极限工作温度		−40～70℃	
相对湿度		≤85%	
电压范围		$(0.7\sim1.3)U_n$	
参比频率		50/60Hz	
起动电流		$0.001I_n$	
时钟误差		≤0.5s/d（23℃）	

第四节　电流互感器

一、电流互感器的结构原理

电流互感器由一次绕组、二次绕组、铁心、接线端子以及绝缘支持物等组成，其工作原理如图11-8所示。一次绕组具有较少的匝数 N_1 与被测电路串联，流过较大的被测电流 $\dot{I}_1$，绕组的绝缘等级和导线截面积应符合实际系统的电压高低和电流大小的条件，绕组对地必须采用与实际系统相应的绝缘支持物。二次绕组具有较多的匝数 N_2，二次额定电流为 $\dot{I}_2$（通常为5A）。二次绕组和测量仪表或继电器线圈相连，由于它们的阻抗很小，电流互感器的正常工作方式接近于短路状态。一次绕组和二次绕组都绕在铁心上，铁心由硅钢片叠加而成，

它的作用是构成磁路，使一、二次绕组产生电磁联系。电流互感器的工作原理与变压器大致相同，当一次绕组中通过交流电流 $\dot{I}_1$ 时，在铁心中产生交变主磁通，于是在二次绕组中就会产生感应电动势，在二次的闭合回路中产生二次电流 $\dot{I}_2$。

根据磁路定律，可以写出下列关系式

$$\dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2 = \dot{\Phi}_0 Z_0$$

式中，$\dot{\Phi}_0$ 为铁心中的主磁通；Z_0 为铁心磁阻。

在理想状态下，铁心磁阻很小，即 Z_0 近似为0，则有 $\dot{I}_1 N_1 + \dot{I}_2 N_2 = 0$，故

$$\dot{I}_1 = -\dot{I}_2 \frac{N_2}{N_1}$$

取绝对值，则有

$$K = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (11\text{-}8)$$

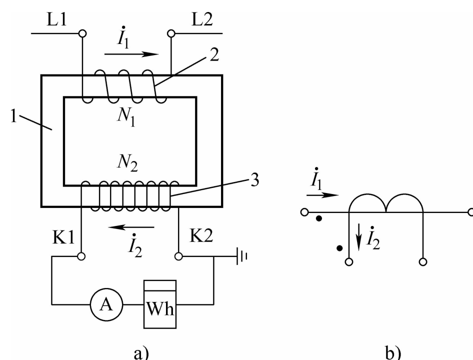


图 11-8　电流互感器示意图

a）结构图　b）图形符号

1—铁心　2—一次绕组　3—二次绕组

式中，K 为电流互感器的电流比；I_1、I_2 分别为电流互感器一次、二次电流，单位为 A；N_1、N_2 分别为电流互感器一次、二次绕组匝数。

由上式可见，电流互感器的电流比和其一、二次绕组匝数成反比。

二、电流互感器的选择

1. 电流互感器的选择原则

1）电流互感器结构形式的选择：在 10kV 及以下的配电装置中，首先应选择环氧树脂浇注式全封闭的电流互感器。测高压只能用高压电流互感器，测低压只能用低压电流互感器，两者不能混用。

2）额定电压的选择：电流互感器的额定电压应等于被测电路的电压。10kV 高压电流互感器的额定绝缘电压为 12kV，0.4kV 低压电流互感器的额定绝缘电压为 0.66kV。

3）额定电流的选择：电流互感器的额定电流应大于被测电路的最大持续工作电流。电流互感器一次额定电流为 10～3000A。

4）电流互感器的电流比选择：根据被测电流的大小选择电流互感器的电流比。电流互感器电流比的分子部分表示其一次额定电流，分母部分表示其二次额定电流。如某电流互感器的电流比为 150/5，表示此电流互感器可通过的一次额定电流为 150A，二次额定电流为 5A。

5）电流互感器准确级的选择：配电变压器的额定容量为 2000kV·A、2500kV·A 时，准确级选 0.2S 级；配电变压器的额定容量在 2000kV·A 以下时选 0.5S 级。

6）电流互感器额定二次容量的选择：低压电流互感器的额定二次容量≤20V·A，10kV 电流互感器的额定二次容量≤60V·A。

2. 电流互感器型号的选择

1）LM-0.5 型电流互感器适用于额定频率为 50Hz、额定电压为 0.5kV 及以下的配电系统中，作电能计量、电流测量和继电保护用，一次母线贯穿。额定一次电流分别为 5～150A、20～200A、300～600A、800A、1000～5000A，额定二次电流为 5A，准确级为 0.5 级，额定输出：600A 及以下为 5V·A、800～5000A 为 20V·A。

2）LMZB8-0.66 型电流互感器适用于额定电压为 0.66kV 及以下的配电系统中，作电能

计量、电流测量和继电保护用，一次母线贯穿，浇注绝缘。额定一次电流为 50 ~ 4000A，额定二次电流为 1A，准确级：100A 及以下为 5P10 级、150 ~ 4000A 为 5P20 级，额定输出为 7.5 ~ 60V · A。

3）SHI-0.66 型电流互感器为浇注绝缘贯穿式，适用于 0.66kV 及以下的配电系统中，作电能计量、电流测量和继电保护用。额定一次电流为 5 ~ 3000A，额定二次电流为 1A、5A，准确级为 0.2 级、0.5 级、1 级，额定输出为 2.5V · A、5V · A、10V · A、15V · A、20V · A、40V · A。

4）LZZBJ12-10 型电流互感器为环氧树脂浇注绝缘全封闭贯穿式，适用于额定频率为 50Hz，额定电压为 10kV 及以下的配电系统中，作电能计量、电流测量和继电保护用。

LZZBJ12-10 型电流互感器的技术参数见表 11-10。

表 11-10　LZZBJ12-10 型电流互感器的技术参数

<table>
<tr><th rowspan="2">额定一次电流/A</th><th rowspan="2">准确级组合</th><th colspan="6">额定输出/V · A</th><th rowspan="2">额定短时热电流(I_{th})/kA</th><th rowspan="2">额定动稳定电流(I_{dyn})/kA</th></tr>
<tr><th>0.2S</th><th>0.2</th><th>0.5S</th><th>0.5</th><th>10P10
5P10</th><th>10P15
5P15</th></tr>
<tr><td>20 ~ 50</td><td rowspan="9">0.2S/10P
0.2/10P
0.5S/10P
0.5/10P
0.2S/5P
0.2/5P
0.5S/5P
0.5/5P</td><td rowspan="9">10</td><td rowspan="7">10</td><td rowspan="7">15</td><td rowspan="7">20</td><td rowspan="5">30</td><td rowspan="4">15</td><td>$200I_{1n}$</td><td>$500I_{1n}$</td></tr>
<tr><td>75</td><td>21</td><td>52.5</td></tr>
<tr><td>100</td><td>24</td><td>60</td></tr>
<tr><td>150, 200</td><td>31.5</td><td>78</td></tr>
<tr><td>300</td><td>20</td><td rowspan="2">50</td><td rowspan="2">125</td></tr>
<tr><td>400</td><td rowspan="2">40</td><td rowspan="2">30</td></tr>
<tr><td>500 ~ 630</td><td rowspan="3">63</td><td rowspan="3">130</td></tr>
<tr><td>800 ~ 1250</td><td>15</td><td>20</td><td>30</td><td>60</td><td>40</td></tr>
<tr><td>1500 ~ 3150</td><td>20</td><td>20</td><td>40</td><td>60</td><td>40</td></tr>
</table>

三、电流互感器的安装

1. 电流互感器常用联结

1）一台电流互感器联结：如图 11-9a 所示，它将电流表接于电流互感器的二次侧。适用于测量单相负载电流或三相平衡负载的某一相电流。

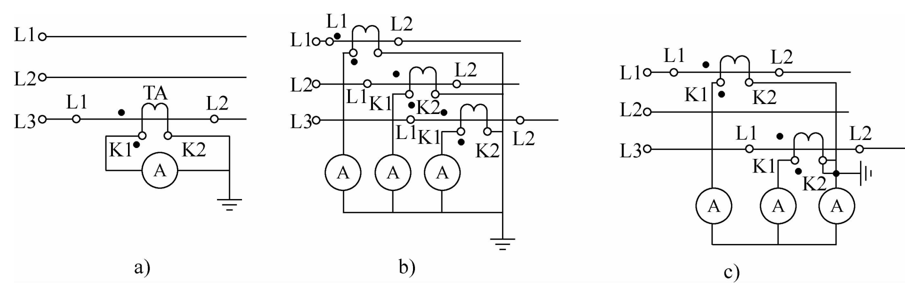


图 11-9　电流互感器联结

a）一台电流互感器联结　b）电流互感器星形联结　c）电流互感器不完全星形联结

2）电流互感器星形联结：如图 11-9b 所示，它由 3 台电流互感器和 3 只电流表组成，可以测量负载平衡或不平衡三相电力系统的三相电流。

3）电流互感器不完全星形联结：如图 11-9c 所示，它由装在 L1、L3 相的电流互感器与 3 只电流表组成，第三只电流表接在公共线上，它的电流是 L1 相电流和 L3 相电流的相量和。这种接线方式比三相星形联结少了一台电流互感器。

电流互感器的一次绕组串联在被测线路中，二次绕组与测量仪表、继电器等电流线圈串联使用。

2. 电流互感器的极性标志及判别方法

1）电流互感器的极性是指在某一瞬间，一、二次绕组同时达到高电位的对应端，称为同极性端或同名端。通常在电流互感器的一次侧标有 L1、L2，二次侧标有 K1、K2，其中的 L1 和 K1、L2 和 K2 为同名端，在电路图中常用“·”或“*”表示，如图 11-10 所示。

2）电流互感器极性接错将产生以下危害：用在继电保护电路中的电流互感器，将引起继电保护装置误动或拒动；用在计量回路中的电流互感器，会使计量及监视仪表失准，还可能使电能表反转。所以接线前必须正确判断电流互感器的极性。

3）通过外形标志判别：如图 11-11a 所示为常用的电流互感器外形，图中标注的 L1 和 K1 为同名端，L2（在互感器的背面）和 K2 为同名端。

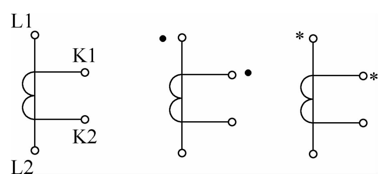
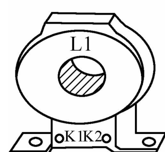


图 11-10　电流互感器极性标志



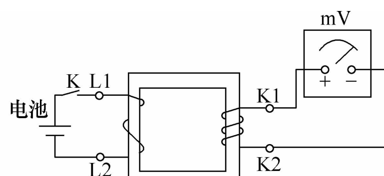


图 11-11　电流互感器同名端的判别
a）通过外形判别　b）测量法判别

4）测量法：当电流互感器的极性标注不清时，可按图 11-11b 所示方法判别，即将万用表置于毫安档或毫伏档，把红表笔与假设的 K1 相连，黑表笔与假设的 K2 相接。然后将一只大号干电池的正、负极分别与假设的 L1、L2 相碰，碰触瞬间，若万用表正偏，则假设的 K1、L1 是同名端，否则假设的 K1、L1 为异名端。

3. 穿心式电流互感器一次绕组的绕法

穿心式电流互感器的一次绕组就是穿过铁心中心孔的导线。电流互感器的电流比与穿过铁心的匝数有关，穿过中心孔的导线数越多，电流比越小。绕制前，应看清哪是互感器的进线端 L1，看清互感器的铭牌上给出的电流比数和需要绕的匝数，电流比下面对应的数值即是所要绕的匝数。例如，如果在 150/5 的下面标明 1 匝，表示采用 150/5 电流比时，只需绕 1 匝；同理如果 50/5 的下面标的是 3 匝，就表示采用 50/5 电流比时，则需绕 3 匝。

绕制时，导线从电流互感器的首端“L1”串入，匝数即是穿过电流互感器中心孔的次数，穿过中心孔有几根导线就是几匝，不要误以为绕在铁心外面的导线数为匝数。若为 1 匝，就直接穿过，若为两匝，穿过后，再绕回穿过一次，依次类推，直至所要的匝数。如图 11-12 所示为穿一匝和两匝的情况。

4. 电流互感器二次侧接地的有关规定

高压电流互感器的一次侧为高压，当一、二次绕组间的绝缘击穿时，高压会通过绝缘损坏的线圈窜入低压。如果二次绕组有一点接地，会将高压经接地点引入大地，使二次回路保持零电位，保证人身及设备的安全。电流互感器二次回路应接线牢固，绝不允许开路和安装熔断器。电流互感器的二次回路只许 K2 端一点接地，否则两接地点间会有电流流过（分流），造成测量误差增大或者影响保护电路的正常动作。

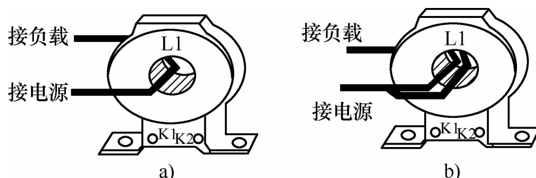


图 11-12　穿心式电流互感器一次绕组的绕法
a）一匝　b）两匝

四、电流互感器的运行维护

电流互感器在正常运行时，必须对电流互感器进行巡视检查。

1）电流互感器的外观必须保持清洁，无积灰现象。

2）外壳绝缘应无裂纹、缺损。

3）无焦臭味、冒烟火花放电现象。

4）一、二次接线应牢固，不发热。

5）防止电流互感器二次回路开路。如果开路，在二次侧可能产生高压，危及工作人员的安全，影响仪表、继电器的绝缘，造成仪表指示不准，电能表不转或转速过慢，继电保护拒动或误动。

电流互感器二次回路开路的原因有：二次回路中试验接线端子的结构设计或质量上存在缺陷；修试人员工作中的失误或工作时不认真，如恢复接线时接错位置；导线未压在压板的金属片上，而误压在胶木套上；二次回路中电流过大，未使用合适的导线，端子接头压接不紧，致使仪表、继电器、变送器等烧坏，都会使电流互感器二次回路开路。

电流互感器二次回路开路的处理方法如下：

①运行中发现电流互感器开路，应先分清故障所属电流回路组别、相别，汇报调度。对保护有影响的，应停用相应的保护装置；能够停电的应尽量停电，不能停电的，应转移或降低一次负载，尽量减小电流互感器的一次电流，以降低二次回路的电压。

②检查开路点。如修试后出现开路，应对照接线图检查拆过或触动过的接线是否压紧、接错；如平时出现开路故障，应先检查连接端子、仪表接线等容易发生故障的端子及元器件。不明显的故障点，可使用短路片或专用短路线，在就近的试验端子上，将二次回路短接。若短接时没有火花，表明开路故障在短接点至互感器之间，可逐步向前移动短接点；若短接时发现有火花，说明开路故障在短接点之后。

③修复开路点。如果是二次回路接线端子或仪表接线螺钉松动造成的开路，可直接紧固松动的接线；如果是二次回路的元器件损坏，应先将短接线短接在开路点之前，但不得断开接地点，然后更换损坏的导线和元器件，最后拆除短接线；如果二次电缆中某一导线断线，可用备用线芯代替，否则要更换二次电缆，并对新电缆进行绝缘电阻测定，更换后还要核对接线。

注意：检查、修复开路点时，应有人监护，站在绝缘垫上，使用带绝缘柄的工具操作；如果是高压电流互感器二次出口处开路，则限于安全距离，人不能靠近，必须在停电后才能

修理；如果电流互感器冒烟、内部有放电响声或引线与外壳间有火花放电，必须停电检修。

④恢复保护及供电。故障处理后，汇报调度，投入原来退出的保护，将暂时转移的负载倒回来。

6）二次侧电能表读数应正确，测量仪表指示应正常。

7）在巡视检查中，一旦发现电流互感器发出焦臭味，冒烟，放电，一、二次桩头过热，主绝缘被击穿等故障时，应及时向上级汇报，并要求停电处理。

第五节　电压互感器

一、电压互感器的结构原理

电压互感器的结构和电流互感器类似，主要也有一次绕组、二次绕组、铁心、接线端子和绝缘支持物等组成，其工作原理如图11-13所示。电压互感器一次绕组具有较多的匝数 N_1，并联接于被测电路的两端，其绝缘等级与实际系统的电压相应。二次绕组具有较少的匝数 N_2，可接通仪表或继电器的电压线圈，二次额定电压通常为100V。由于二次负荷阻抗很大，电流很小，故电压互感器正常工作时二次回路接近开路运行。一次绕组和二次绕组都绕在铁心上，铁心由硅钢片叠加而成，它的作用是形成磁路，使一、二次绕组产生电磁联系。

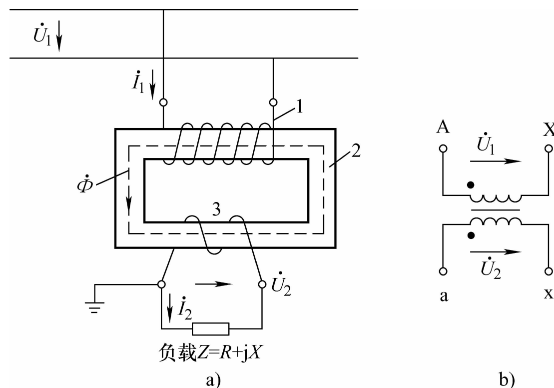


图11-13　电压互感器示意图

a）结构图　b）图形符号

1—一次绕组　2—铁心　3—二次绕组

电压互感器正常工作时可以看做是一台空载运行的降压变压器，其工作原理和变压器相同。当一次绕组接于电源电压 $\dot{U}_1$ 时，在一次绕组中流过空载电流 $\dot{I}_0$，在铁心中产生磁通 $\dot{\Phi}$，这个磁通在二次绕组中产生感应电动势 $\dot{E}_2$，约等于二次端电压 $\dot{U}_2$，在理想状态下有

$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{N_1}{N_2}=K \tag{11-9}$$

式中，U_1 为一次绕组电压；U_2 为二次绕组电压，100V；K 为电压互感器的电压比；N_1、N_2 分别为电压互感器一、二次绕组的匝数。

由式（11-9）可知，电压互感器的电压比 K 与其一次绕组的匝数成正比，与其二次绕组匝数成反比。

二、电压互感器的选择

1. 电压互感器的选择原则

1）电压互感器结构形式的选择：在10kV配电装置中，一般选用环氧树脂浇注绝缘全封闭的电压互感器。

2）额定电压比的选择：在10kV配电装置中，电压互感器的额定电压比为10/0.1。

3）准确级的选择：电压互感器准确级的选择原则：配电变压器容量为 2000kV · A、2500kV · A 时，准确级为 0.2 级；配电变压器容量在 2000kV · A 以下时，准确级为 0.5 级。

4）额定容量的选择：电压互感器的额定容量应满足二次负载所消耗的总功率，否则会造成较大的电能计量及电力测量误差。10kV 电压互感器的额定二次容量≥30V · A。

5）额定绝缘水平的选择：选择的电压互感器应满足绝缘耐受电压的要求。在 10kV 配电装置中，电压互感器的额定绝缘电压为 12kV；相对地，相间雷电冲击耐受电压峰值为 75kV；相对地，相间 1min 工频耐受电压有效值为 42kV；二次线圈 1min 工频耐受电压有效值为 2kV。

2. 电压互感器型号的选择

在 10kV 配电装置中，一般选用 JDZ11-10 型环氧树脂浇注成形全密封的互感器，作电压测量和继电保护用。其技术参数见表 11-11。

表 11-11 JDZ11-10 型电压互感器的技术参数

型　号	额定电压比/kV	准确级或准确级组合	额定输出/V · A	极限输出/V · A	额定绝缘水平/kV
JDZ11-10A	10/0.1	0.2 0.5 1	40 100 200	500	12/42/75
JDZ11-10B	10/0.1	0.2 0.5 1	50 120 240	600	12/42/75
JDZ11-10A	10/0.1/0.1	0.2/0.2 0.2/0.5 0.5/0.5	20/20 20/30 30/30	300	12/42/75
JDZ11-10B	10/0.1/0.1	0.2/0.2 0.2/0.5 0.5/0.5	20/20 20/30 30/30	300	12/42/75

三、电压互感器的安装

1. 电压互感器接线方式

电压互感器的接线应遵守并联原则，即其一次绕组应与被测电路并联，其二次绕组也应与仪表及其他负荷并联，在接线时应注意其极性。

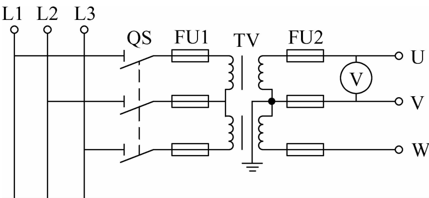


图 11-14 Vv 联结图

1）Vv 联结。用两台单相双绕组电压互感器可以接成 Vv 联结，如图 11-14 所示。Vv 联结只能测量三个线电压，而不能测量相电压，可用来给三相电能表、电压表以及继电保护的电压线圈提供电压。

2）Yyn 联结和 YNyn 联结。用三台单相双绕组电压互感器或一台三相双绕组电压互感器可以接线 Yyn 联结，如图 11-15 所示。接线时电压互感器一次中性点不接地，二次测中性点接地，这种接线方式能测量三个线电压，三个相电压，但不能测量相对地电压。

如果要测量相对地电压，可以将电压互感器一次中性点接地，即接成 YNyn 联结。但在

中性点不直接接地系统中，不允许将三相三柱式电压互感器接成 YNyn 联结，否则当一次回路单相接地时，将烧坏电压互感器。

3）YNynv 联结。用三台单相三绕组电压互感器或一台三相五柱式三绕组电压互感器均可接成 YNynv 联结，如图 11-16 所示。接线时一、二次绕组中性点都接地，开口三角绕组也有一点接地。这种接线方式可以测量三个线电压，三个相对地电压，而且当一次系统任一相接地时，开口三角将有电压输出，可以在开口三角侧接入继电器 K 供监视一次系统接地的保护用。

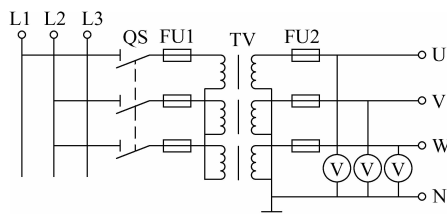


图 11-15　Yyn 联结图

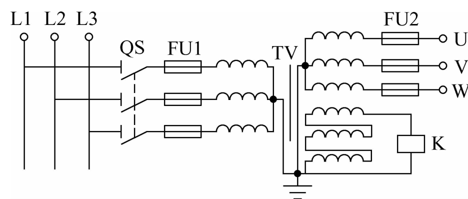


图 11-16　YNynv 联结图

2. 电压互感器的一次侧 A、X 应与被测电路并联，二次侧 a、x 应与测量仪表连接，二次侧不得短路，否则会烧坏电压互感器。

3. 电压互感器外壳和二次绕组的一端应可靠接地，否则一、二次绕组绝缘损坏时，一次侧所接高压会窜入二次侧，不但容易损坏二次侧低压设备，还可能威胁人身安全。

4. 电压互感器的极性判别

（1）通过外形标志判别

在电压互感器的外壳上常标有 A、X 和 a、x，其中 A、X 表示一次绕组，a、x 表示二次绕组，且 A 和 a、X 和 x 为同名端，如图 11-17 所示。

（2）测量法

如图 11-18 所示，将假设的电压互感器的尾端 X、x 连在一起，闭合开关 S，在电压互感器的一次绕组中通入低压交流电 U_1，用交流电压表分别测量 U_2、U_3 的电压数值，若 $U_3 = U_1 - U_2$，则表明 A、a 为同名端，测试时，应将调压器从“0”位缓慢升高，只要能看清电压表读数即可。

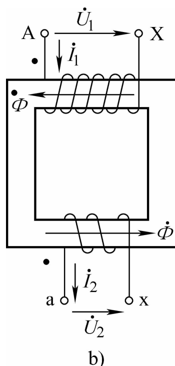


图 11-17　电压互感器极性

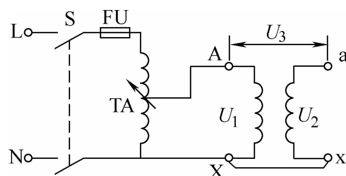


图 11-18　交流电压测量法判别电压互感器的同名端

四、电压互感器的运行维护

1）外壳应清洁。

2）绝缘子及其他绝缘介质有无裂纹，有无缺损及放电现象。

3）一次引线及二次回路接线应紧固，接触良好。

4）有无过热冒烟或异味。

5）金属外壳接地线应良好。

6）互感器二次侧仪表设备指示应正常。

7）注意电压互感器保护熔丝是否熔断。电压互感器一次侧熔丝熔断后，非故障相的电压表指示正常，与故障相有关的电压都有不同程度的降低。造成电压互感器一次侧熔丝熔断的原因有以下几点：

①电压互感器绝缘击穿，绕组有匝间、层间或相间短路，一相接地等故障。

②铁磁谐振引起过电压或过电流，也会造成一次侧熔丝熔断。应查明原因并采取消谐振措施。

③电压互感器二次回路故障，而二次短路保护的熔丝又选得过大，短路故障时不能熔断，这时也可能导致一次侧的熔丝熔断。应检查并排除二次回路故障，更换一、二次侧熔丝，且不可用普通熔丝代替标准熔丝。

当电压互感器一次侧熔丝熔断时，应拉开电压互感器的隔离开关，详细的检查外部有无故障现象，若无故障现象，则换好熔丝后再投入运行。若合上隔离开关后熔丝再次熔断，则应拉开隔离开关作详细的检查，并报告上级。修理或更换故障电压互感器高压熔丝时，应有专人监护，工作中应注意保持与带电部分的安全距离。

电压互感器的二次侧熔丝的作用是保护电压互感器的二次绕组及其负载，由于电压互感器二次绕组的阻抗很小，是不允许短路的，当电压互感器二次回路受潮、腐蚀及损伤而发生短路故障时，会导致二次电流增大，二次侧熔丝熔断。

当二次侧熔丝熔断后，应查明原因并处理故障后才能送电，如检查时未发现异常，可更换同规格的熔丝试送电，如果熔丝再次熔断，说明二次回路有短路故障，切不可再次试送电。

8）电压互感器运行时有无吱吱放电声或其他异声。

①绕组匝间短路或接地，有“噼叭”的放电声，表明高压熔丝熔断。一般源于系统过电压，长时间过载运行，使绝缘老化。

②绕组断线，会在断线处产生放电声，断线相的电压表指示降低或为零。一般由于互感器引出线接线不合理或导线焊接不良，机械强度不够，造成引出线断线。

若电压互感器内部有异常声响并有烟雾等严重故障时，高压侧未装熔断器或高压熔断器不带限流电阻的，应立即断开相应的断路器，保证无电状态下拉开电压互感器隔离开关，切不能用隔离开关直接断开故障的电压互感器，否则可能在断开故障电流时，引起母线短路、设备损坏或人身伤亡；若是高压熔断器未熔断，高压侧绝缘未损坏的故障，或是高压熔断器带有限流电阻时，可根据现场规程规定，直接用隔离开关断开检修。

9）为了确保电压互感器的安全运行，应根据其试验项目、周期进行校验。电磁式电压互感器的试验项目、周期和要求见表 11-12。

表 11-12　电压互感器的试验项目、周期和要求

项　目	周　期	要　求									说　明
绝缘电阻/MΩ	1)交接时 2)大修后 3)投运前 4)1～3年 5)必要时	温度/℃	10	20	30	40	50	60	70	80	一次绕组用2500V绝缘电阻表,二次绕组用1000V或2500V绝缘电阻表
		3～10kV	450	300	200	130	90	60	40	25	

第六节　电能计量装置的配置

一、电能计量装置的配置原则

1. 高供低计

在10/0.4kV配电变压器的低压侧，安装电能计量装置时，称为高供低计。电能表仅计量到用户的用电量，不能计量10kV线路及变压器的电能损耗值。

2. 高供高计

在10/0.4kV配电变压的高压侧，安装电能计量装置时，称为高供高计。电能表计量到用户的用电量及配电变压器损耗的电量，不能计量10kV线路的损耗电量。

3. 关口表计量

在电源变电所10kV出线处安装电能计量装置时，称为关口表计量。电能表计量用户用电量及线路、变压器损耗的电量。

二、电能计量装置的配置

1. 0.4kV侧电能计量

在0.4kV侧电能计量一般设总计量、分计量，分计量根据实际出线回数配置，如图11-19所示。计量设备见表11-13。

2. 10kV侧电能计量

在10kV侧电能计量，一般设置电源进线总表计量，及10kV出线分表计量。10kV计量柜电能计量设备材料见表11-14。

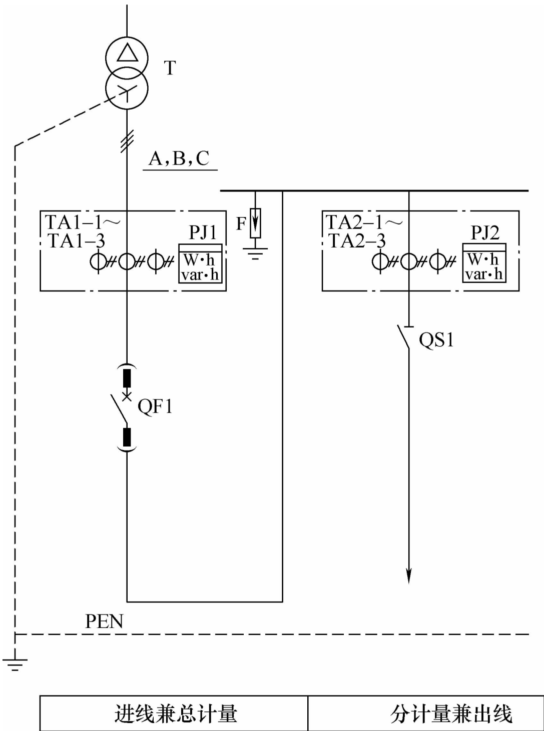


图 11-19　0.4kV侧电能计量配置

表 11-13　0.4kV侧电能计量设备

名　称	型号规格	数量	备　注
电流互感器	660V　0.5S　□/5A	6	0.5S
多功能电能表	3×220/380V　3×1.5(6)A	2	有功1.0级、无功2.0级

表 11-14　10kV 电能计量柜主要电能计量设备材料

序号	名　称	技术要求	单位	数量
1	电流互感器	0.2S 级,10V·A	台	2
2	电压互感器	0.2 级,25V·A	台	2
3	TV 一次熔断器	RN10-0.5	只	3
4	多功能电能表	1.0 级,3×100V,3×1.5(6)A	只	1
5	中间继电器	AC 220V,用于预付费控制	只	1
6	报警器	AC 220V,用于预付费报警	只	1
7	低压空气断路器	2P,控制回路工作电源保护	只	1
8	试验接线盒		只	1
9	铠装电缆	KVV22-4×1.5	m	
10	电能信息采集与监控终端	GPRS/CDMA RS-485 通信口不少于 2 个	只	1

三、电力负荷管理终端

1. 简介

为了实现电力需求侧管理，用户可安装 FKWB82-C103 电力负荷管理终端，是电力部门实施负荷控制、远方抄表和用电管理的有效技术手段。

终端具有结构模块化、连线少、维护简便、大液晶显示、超大容量数据存储空间，可进行远程和本地升级程序，独立的 RS-485 抄表接口，8000 汉字显示，全方位信息服务。在接口上，配置了 8 路脉冲输入、8 路遥信状态量输入、4 路控制输出（常开与常闭）、RS-232 口、RS-485 口，可以实现电力需求侧管理终端要求的功能，其全部性能指标均符合企业最新标准。

2. 主要技术参数

1）工作频率：230MHz 频段无线电负荷管理系统专用频率。

2）波特率：　□1200bit/s　　□2400bit/s　　□4800bit/s。

3）调制方式：□FSK　　□MSK　　□PSK。

4）基准灵敏度：≤0.25μV（SINAD = 12dB）。

5）发射功率：1～10W（5 级可编程序设置）。

6）杂散响应抗扰性：≥70dB。

7）邻道选择性：≥70dB。

8）互调抗扰性：≥70dB。

9）频率稳定度：$\pm 1.5 \times 10^{-6}$。

10）遥控输出：4 轮，动合、动断触头可选，触头容量 AC 250V/10A。

11）报警输出：1 路，动合触头，触头容量 AC 250V/10A。

12）遥信输入：8 路，接入不带电的动合/动断切换触头。

13）脉冲量输入：8 路，输入脉宽：50～80ms，幅度为 8～12V。

14）工作电源：85～265V，（1±5%）50Hz。

15）温度：－25～＋55℃，湿度：≤95%。

3. FKWB82-C103 型电力负荷管理终端的安装

（1）脉冲量接线方法

终端内部脉冲输入电路如图 11-20 所示。

电能表的接线方法，分为有源电能表接线和无源电能表接线如图 11-21 所示。

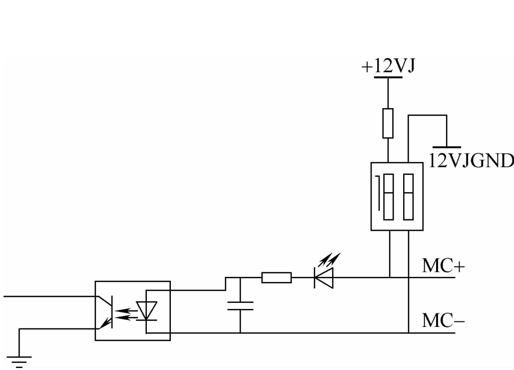


图 11-20　终端内部脉冲输入电路

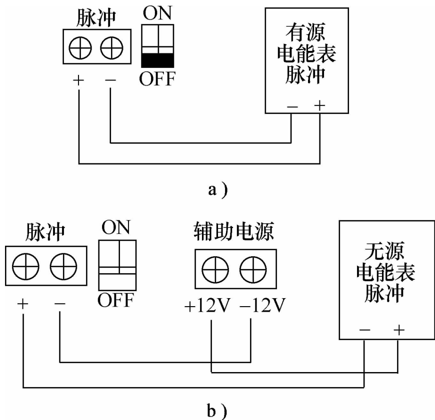


图 11-21　电能表的接线方法

a）有源电能表接线　b）无源电能表接线

（2）遥信接线方法

遥信接线方法如图 11-22 所示。

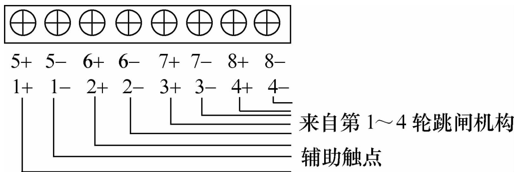


图 11-22　遥信接线方法

（3）遥控接线方法

遥控端子的动合触头接加压型跳闸操作机构，动断触头接失压型跳闸操作机构，如图 11-23 所示。

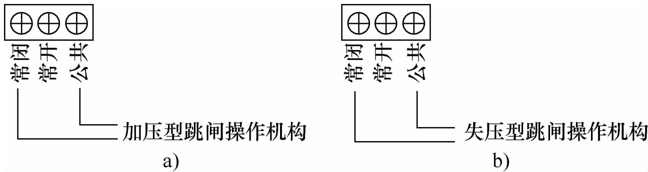


图 11-23　遥控接线方法

a）加压跳闸　b）失压跳闸

（4）电能表接线方法

抄表接线方法由所选用的智能电能表而有些区别，RS-485 接口电能表接线方法如图 11-24 所示，四线电流环型电能表接线方法如图 11-25 所示。

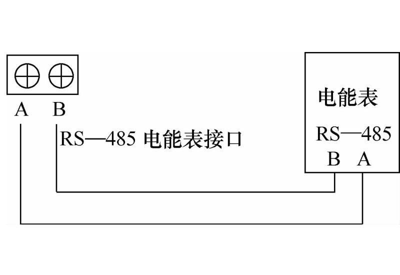


图 11-24　RS-485 接口电能表接线方法

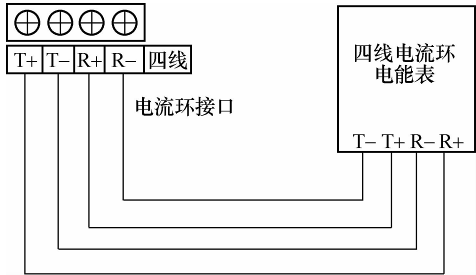


图 11-25　四线电流环型电能表接线方法

第七节　电能计量装置的安装

一、电能计量与控制二次回路

1. 0.4kV 电能计量

0.4kV 电能计量二次回路如图 11-26 所示。

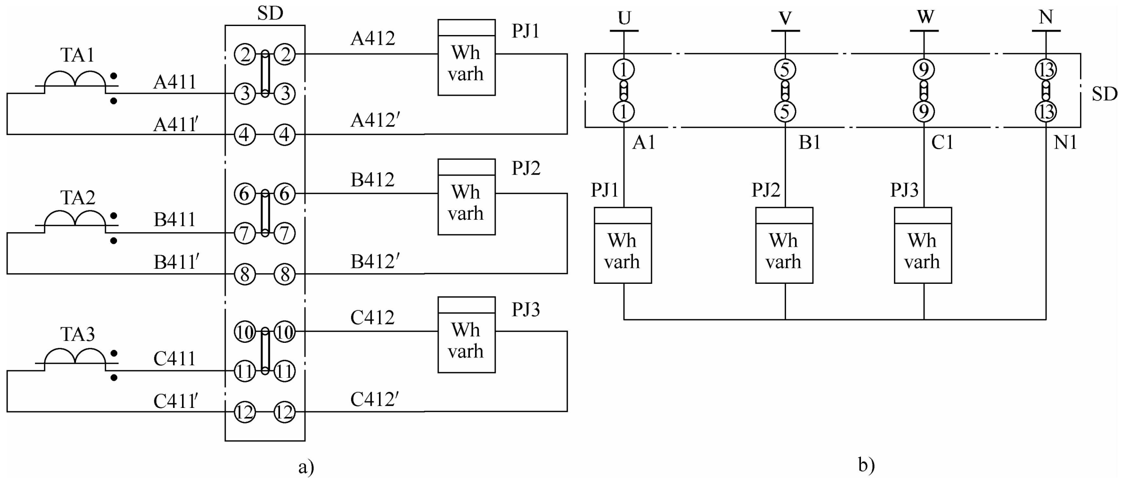


图 11-26　0.4kV 电能计量二次回路图

a）电流回路图　b）电压回路图

TA—电流互感器　SD—试验接线盒　PJ—电能表

0.4kV 电能计量主要设备材料见表 11-15。

表 11-15　0.4kV 电能计量主要设备材料

名　称	型号规格	数量	备　注
电流互感器	660V　0.5S　□/5A	6	0.5S
多功能电能表	3×220/380V　3×1.5(6)A	2	有功 1.0 级，无功 2.0 级
试验接线盒	三相四线	2	

2. 10kV 电能计量

10kV 固定、环网式电能计量二次回路原理如图 11-27 所示，设备材料见表 11-16。

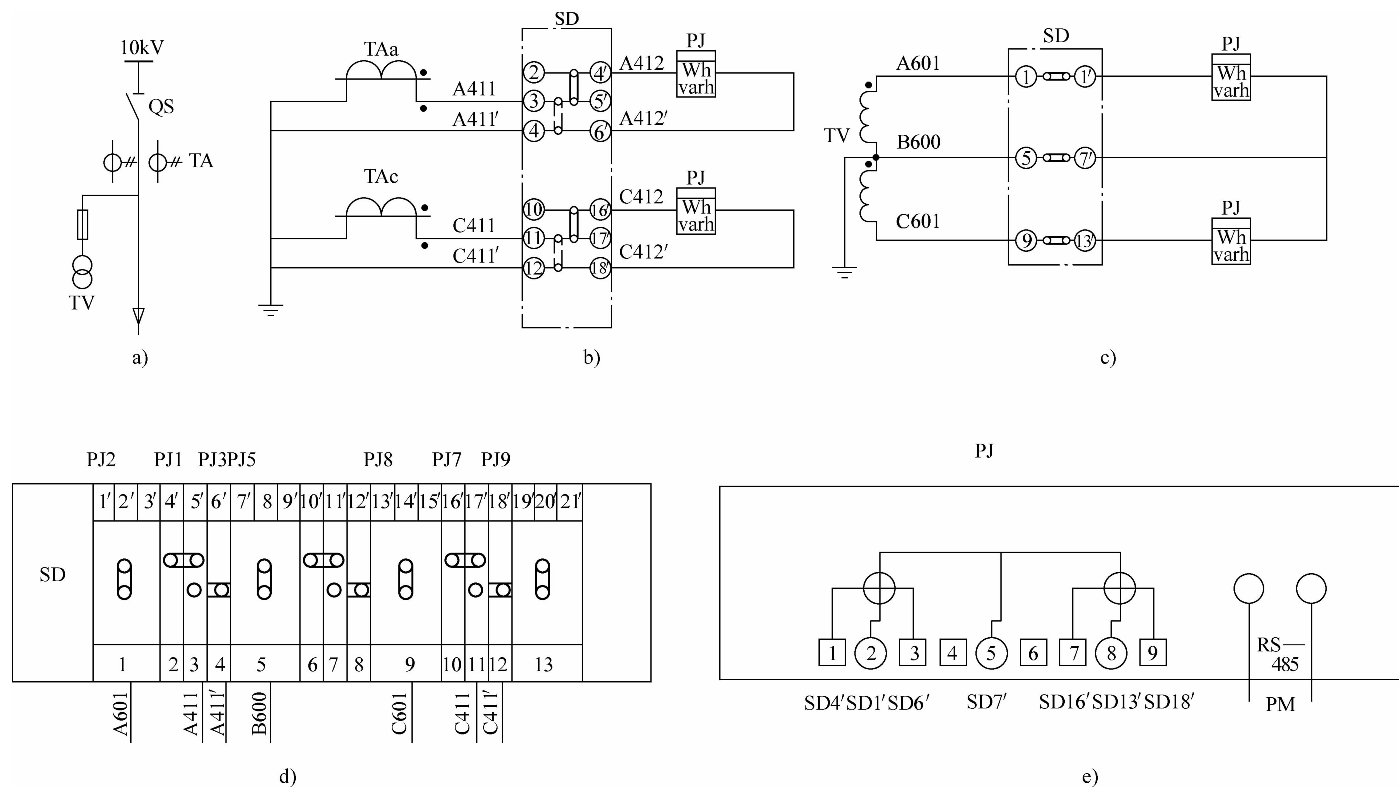


图 11-27　10kV 固定、环网式电能计量二次回路原理图

a）一次电气主接线　b）电流回路　c）电压回路　d）试验接线盒　e）多功能电能表

TA—电流互感器　SD—试验接线盒　PJ—多功能电能表　PM—电能信息采集与监控终端

表 11-16　10kV 固定、环网式电能计量设备材料

序号	标号	名　　称	型号规格	数　　量
1	SD	试验接线盒		1
2	PJ	多功能电能表	DSSD719-B	1
3	PM	电能信息采集与监控终端	FKWB82-C103	1

10kV 移开式电能计量二次回路原理如图 11-28 所示，设备材料见表 11-17。

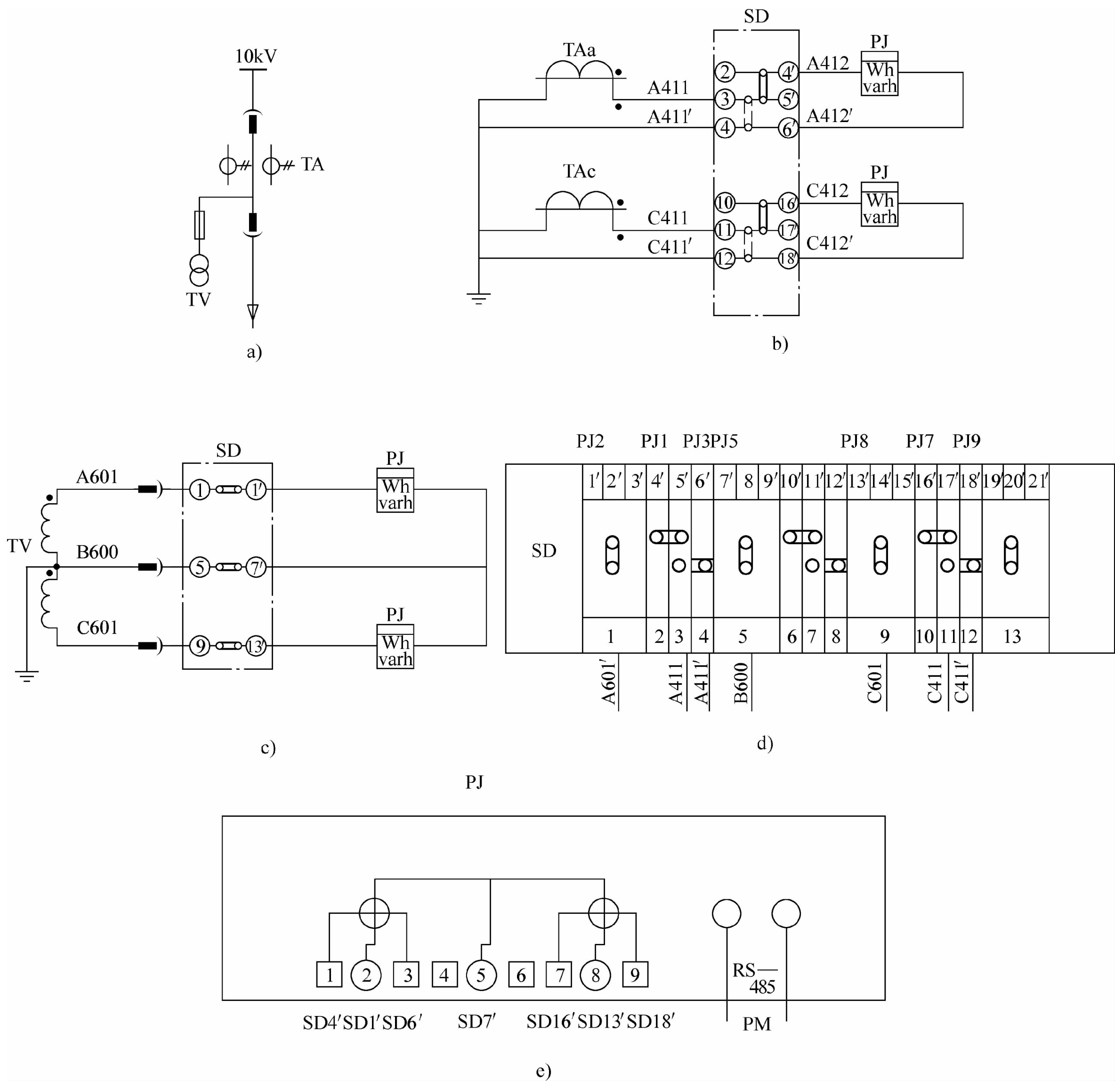


图 11-28　10kV 移开式电能计量二次回路原理

a）一次电气主接线　b）电流回路　c）电压回路　d）试验接线盒　e）电能信息采集与监控终端

TA—电流互感器　SD—试验接线盒　PJ—多功能电能表　PM—电能信息采集与监控终端

表 11-17　10kV 移开式电能计量设备材料

序号	标号	名　　称	型号规格	数　　量
1	SD	试验接线盒		1
2	PJ	多功能电能表	DSSD719-B	1
3	PM	电能信息采集与监控终端	FKWB82-C103	1

10kV 开关柜电能计量信息监控回路如图 11-29 所示，设备材料见表 11-18。

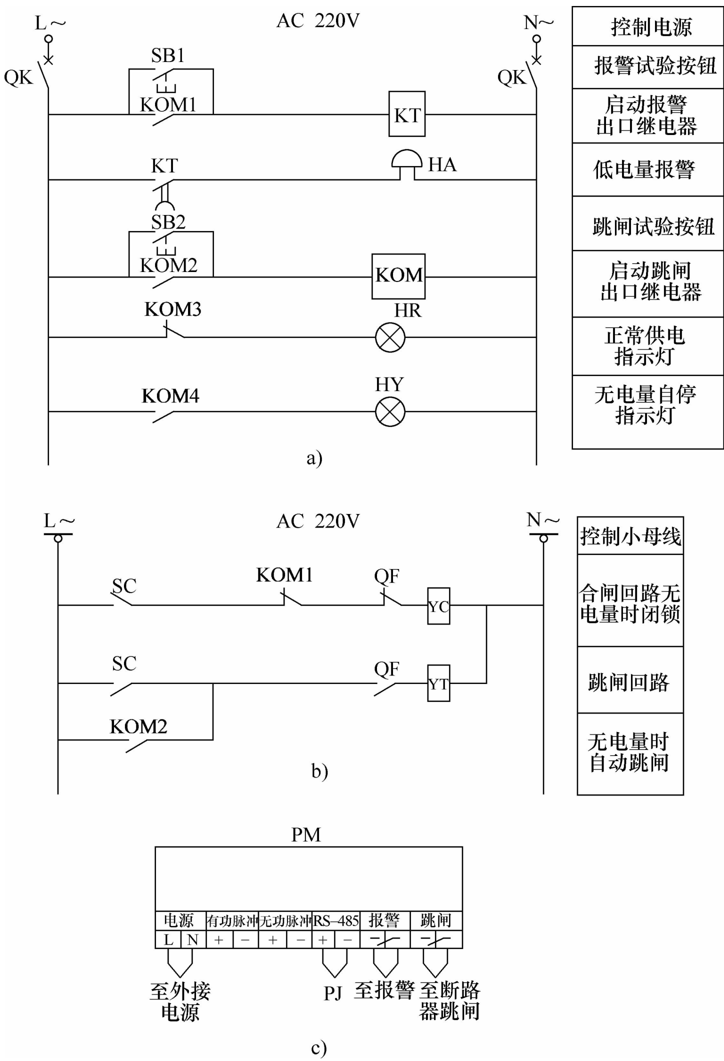


图 11-29　10kV 开关柜电能计量信息监控回路图

a）控制回路　b）操作回路　c）电能信息采集与监控终端

PM—电能信息与监控终端　SB1—黄色试验报警按钮

SB2—红色应急分闸按钮　HA—警铃　HR—红灯　HY—黄灯　QF—空气断路器

KT—时间继电器　KOM—中间继电器　YC—断路器合闸线圈　YT—断路器跳闸线圈

表 11-18　10kV 开关柜电能计量信息监控设备材料

序号	标号	名　　称	型号规格	数量	备　　注
1	PM	电能信息采集与监控终端	FKWB82-C103	1	
2	SC	分、合闸转换开关		2	至备跳开关元件
3	SB1	黄色试验报警按钮	LAY3-11	1	
4	SB2	红色应急分闸按钮	LAY3-11	1	
5	HA	警铃	UC4-75MM　AC 220V	1	
6	HLW　HLY	白灯、黄灯	ND1　220V	2	
7	QF	空气断路器	C65-6A　2P	1	
8	KT	时间继电器	JSZ3F　AC 220V	1	
9	KOM	出口中间继电器	NC3-16-22-00　AC 220V	1	

二、电能表的安装工艺

1. 单相电能表的安装

（1）单相电能表的直接接线安装

如果线路负载不超过单相电能表的最大电流，可将单相电能表直接接于线路上测量，如图 11-30 所示。图中圆圈内的竖直线（或竖直方向的线圈）为电压线圈，圆圈内的横直线（或水平方向的线圈）为电流线圈。

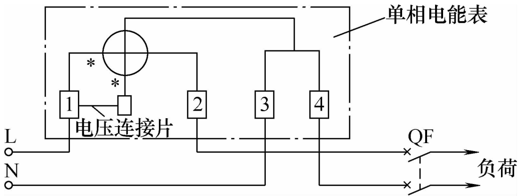


图 11-30　单相电能表的直接接线线路

接线时，电压、电流线圈标有“·”或“*”的一端应接在电源一端，另一端应接在负载端。单相电能表接线盒有 4 个接线端子，从左到右依次为 1、2、3、4，其中，相线的进线接端子 1，相线的出线接端子 2，中性线进线接端子 3，中性线出线接端子 4，相线与中性线不可接反。另外，在端子 1、2 之间有一附加端子，它是表内电压线圈的端子，通过一个电压连接片（电压小钩）与端子 1 相连，此电压连接片不可拆开，如图 11-31 所示。

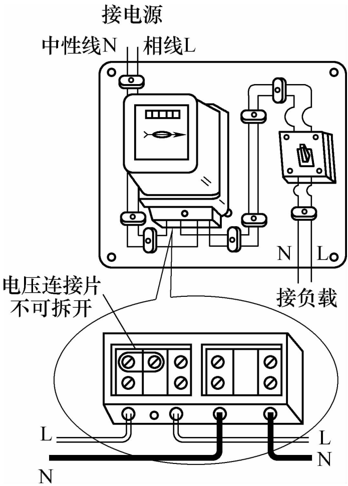


图 11-31　单相电能表的直接接线方法

（2）单相电能表经电流互感器接线安装

如果被测线路电流超过电能表的最高量限，则要通过电流互感器来扩大量程，其常用接法有两种。

如图 11-32a 所示的接法，电流互感器一次侧串联于被测电路，相线的进线接 L1 端，相线的出线接 L2 端，这样通过电流互感器的一次电流就是被测电路的实际电流；同时 1 号端子应与相线连接，以提供电能表计量所需的电压；但由于电压连接片没有拆开，电流互感器二次侧的 K2 不能接地，否则会烧坏电能表。

如图 11-32b 所示的接法，电流互感器二次侧

的 K1 接在 1 号端子，K2 接在 2 号端子，由于已将电压连接片拆开，1、2 间的附加端子应接电源相线的 L1 端，以提供电压线圈工作所需的电压，同时电流互感器二次侧的 K2 应接地，以保证电流互感器及用电线路的安全。

因电能表的电压线圈和电流线圈是有极性的，故上述两种接法，电源相线输入端的 L1、L2 与二次侧 K1、K2 的首端和尾端不能接错，即将两个线圈的同极性端与电源电压、电流的同极性端相连，电能表才能正常转动，否则电能表会倒转。

经电流互感器接线的电能表，用户实际使用的电量等于电能表读数乘电流互感器电流比。例如，一个月内，额定电流为 5A 的电能表显示的用电量为 25kW·h，电流互感器的电流比为 200/5 = 40，则该用户本月实际用电量为 40 × 25kW·h = 1000kW·h。

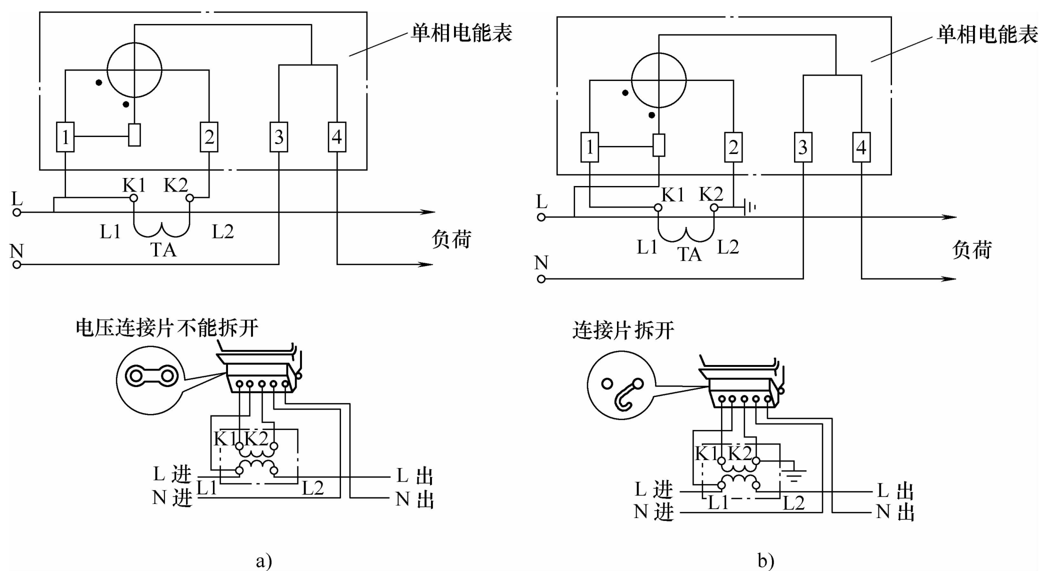


图 11-32　单相电能表经电流互感器接线线路及接线方法
a）连接片没有拆开时的接法　b）连接片拆开时的接法

2. 三相三线电能表的安装接线

（1）直接接线

当测量电流不大的低压三相三线供电线路（没有中性线）的电能时，接线线路如图 11-33 所示，接线方法如图 11-34 所示。即 1、3 分别接 L1 相的进线和出线，4、5 分别接 L2 相的进线和出线，6、8 分别接 L3 相的进线和出线。有的电能表只有 7 个接线孔，这种表的 4、5 接线孔在表内是连在一起的，5 后的接线号减 1，这时 L2 相的进、出线都接 4 孔，5、7 分别接 L3 相的进线和出线。注意：进线与出线不能接错，否则表不转、倒转或计量不准；表尾连接片不能拆开，它是连接表内电压线圈和电流线圈的。

（2）经电流互感器接线

当被测三相三线制线路电流较大时，须经电流互感器接线。由于表内的端子连接片已拆开，互感器 TA1、TA2 的“K2”应可靠接地，接线线路如图 11-35 所示，接线方法如图 11-36 所示；若表内的端子连接片没有拆开，互感器 TA1、TA2 的“K2”不能接地。

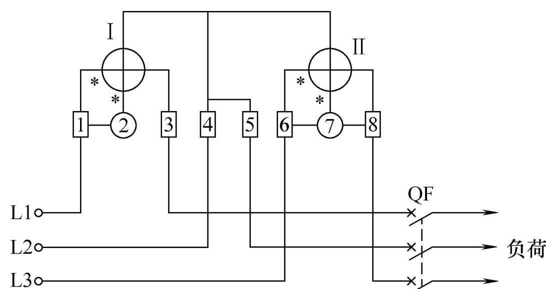


图 11-33　三相三线电能表的直接接线线路

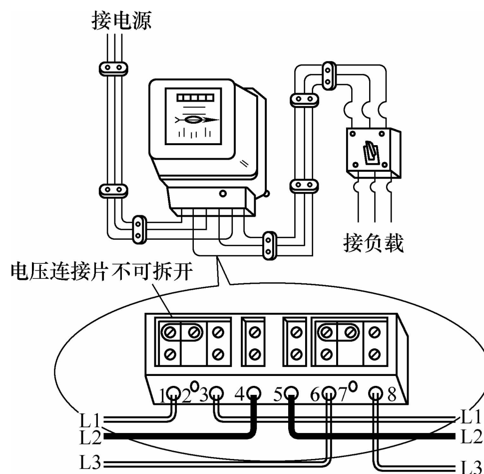


图 11-34　三相三线电能表的直接接线方法

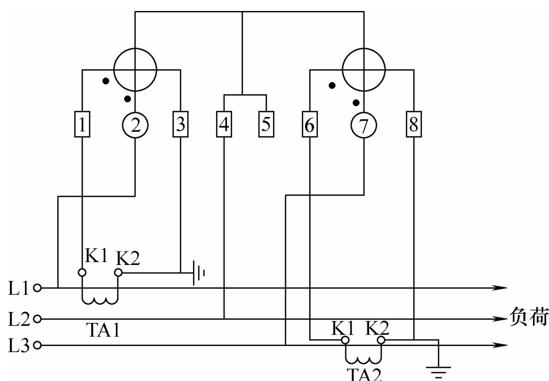


图 11-35　三相三线电能表经电流互感器的接线线路

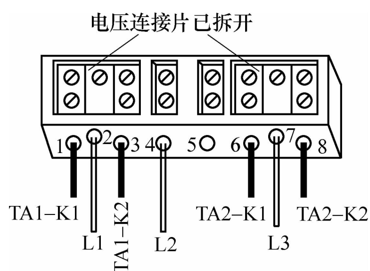


图 11-36　三相三线电能表经电流互感器的接线方法

（3）带电压、电流互感器接线

三相三线多功能电能表带电压、电流互感器接线如图 11-37 所示。

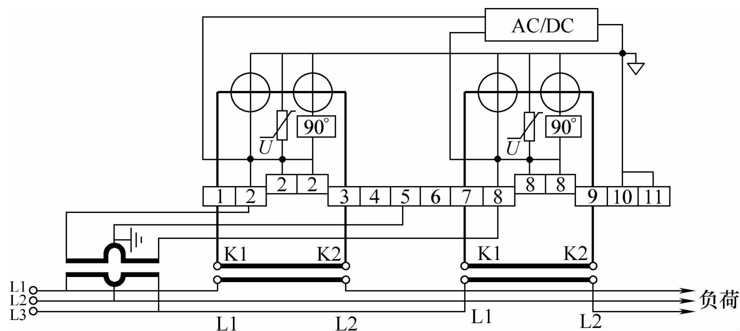


图 11-37　三相三线多功能电能表带电压、电流互感器接线

3. 三相四线多功能电能表的接线

三相四线多功能电能表直通接线如图 11-38 所示，三相四线多功能电能表带电流互感器

的接线如图 11-39 所示，三相四线多功能电能表带电压、电流互感器的接线如图 11-40 所示。

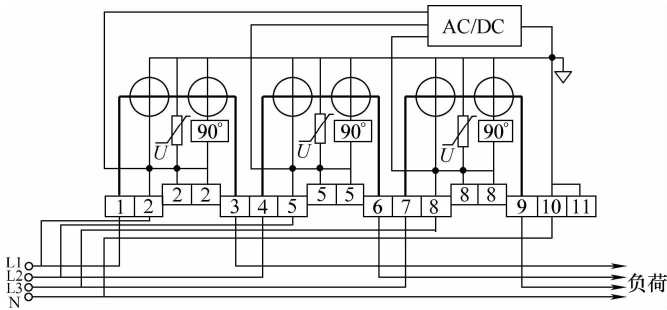


图 11-38　三相四线多功能电能表直通接线

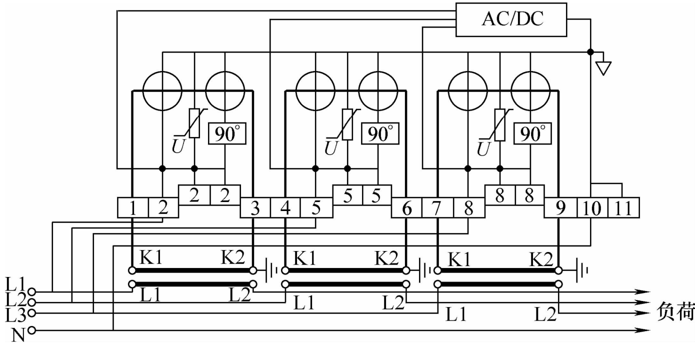


图 11-39　三相四线多功能电能表带电流互感器接线

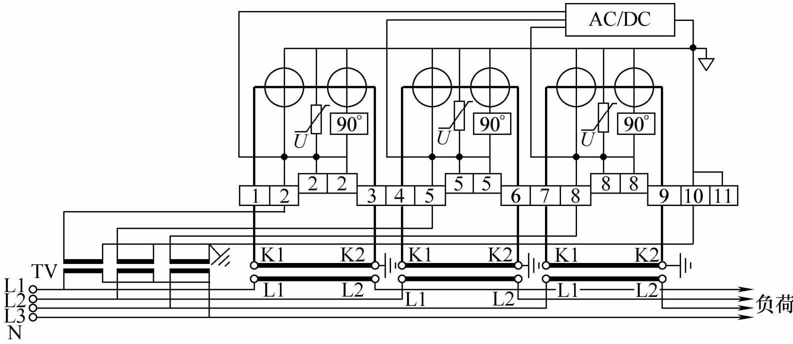


图 11-40　三相四线多功能电能表带电压、电流互感器接线

多功能电能表辅助端子接线如图 11-41 所示，脉冲输出接口原理如图 11-42 所示，辅助端子脉冲输出原理如图 11-43 所示。

辅助端子																	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
时钟地(−)		时钟频率	正向有功 +	−	感性无功 +	−	反向有功 +	−	容性无功 +	−	通信地	RS 485 A	$\bar{A}$	跳闸		报警	

图 11-41　多功能电能表辅助端子接线

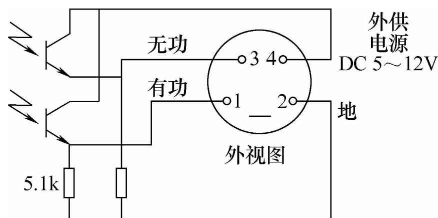


图 11-42　多功能电能表脉冲输出接口原理

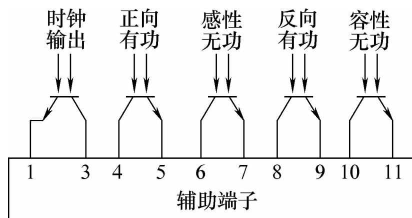


图 11-43　多功能电能表辅助端子脉冲输出原理

RS-485 接入时，建议选用三芯屏蔽线，其三芯将终端与表计 A、$\overline{A}$、通信地相连，屏蔽层单端可靠接入保护地中。

4. 电能表现场校验接线

在城乡一些重要工业用户中，要求带负荷拆换电能表及现场校验电能表。遇有这样的用户，就要求采用联合接线盒综合接线。

按图 11-44 接线的电能表，需要带负荷拆换时，其拆换方法，可参照图 11-44 按以下步骤进行：

1）合上铜片（2）、（5）、（8），使电流互感器二次短路，此时电能表铝盘应停止转动。

2）打开铜片（1）、（4）、（7）、（10），此时，电能表本身接线盒电压进线处应无电压。

3）拆除电能表，并换上新调的电能表。

4）合上铜片（1）、（4）、（7）、（10），使电能表带上电压。

5）打开铜片（2）、（5）、（8），电能表应正常运转。

同样，在图 11-44 中，现场带负荷校验电能表时的使用方法如下：

1）将标准表的三相电流回路分别接于专用接线盒孔下 4 和上 3、下 8 和上 7、下 12 和上 11。

2）将标准表的三相电压回路用弹簧夹子接于端子（1）、（4）、（7）、（10）带有电压的铜片上。

3）依次打开铜片（3）、（6）、（9），若标准表正常运转，即可进行校对工作。

4）校对工作完毕后，合上铜片（3）、（6）、（9），观察标准表应停止转动，拆除端子（1）、（4）、（7）、（10）的弹簧夹子，然后拆除标准表。

5）拆除端子的下 4 和上 3、下 8 和上 7、下 12 和上 11 的电流线。

同样，使用一只三相四线有功电能表和三台电流互感器的联合接线，如图 11-45 所示。

1）合上铜片（2）、（5）、（8），使电流互感器二次短路，此时电能表铝盘应停止转动。

2）打开铜片（1）、（4）、（7）、（10），此时，电能表本身接线盒电压进线处应无电压。

3）拆除电能表，并换上新调的电能表。

4）合上铜片（1）、（4）、（7）、（10），使电能表带上电压。

5）打开铜片（2）、（5）、（8），电能表应正常运转。

同样，在图 11-45 中，现场带负荷校验电能表时，也可按图 11-44 的使用方法，即

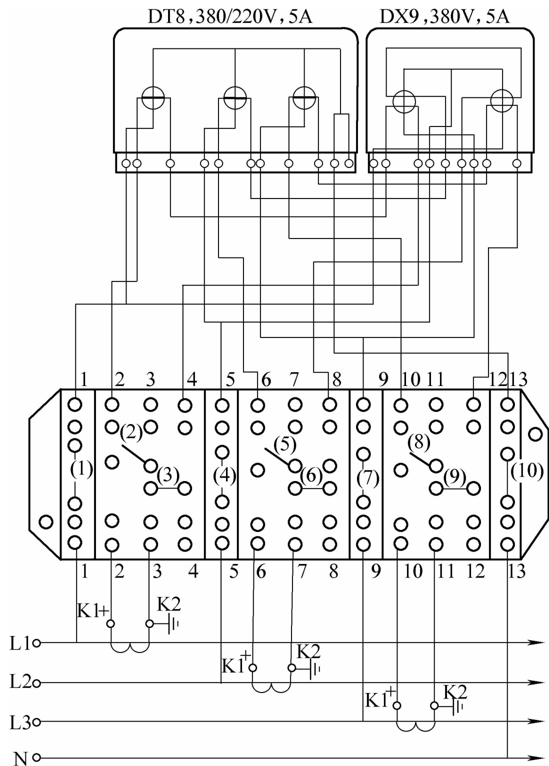


图 11-44　三相四线有功电能表和无功电能表联合接线带负荷拆换原理

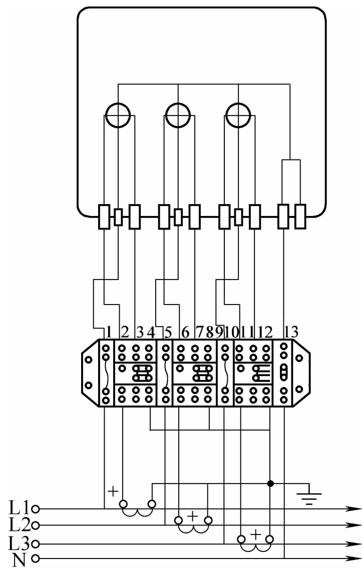


图 11-45　一只三相四线有功电能表和三台电流互感器的联合接线原理

1）将标准表的三相电流回路分别接于联合接线盒的孔下 4 和上 3、下 8 和上 7、下 12 和上 11。

2）将标准表的三相电压回路用弹簧夹子接于端子（1）、（4）、（7）、（10）带有电压的铜片上。

3）依次打开铜片（3）、（6）、（9），若标准表正常运转，即可进行校对工作。

4）校对工作完毕后，合上铜片（3）、（6）、（9），观察标准表，应停止转动，拆除端子（1）、（4）、（7）、（10）的弹簧夹子，然后拆除标准表。

5）拆除端子的下 4 和上 3、下 8 和上 7、下 12 和上 11 的电流线。

第八节　电能计量装置的接线检查

一、单相电能表的接线检查

1. 单相电能表内部接线的简便判别

由于电能表的电压线圈并联于电路中，而电流线圈串联于电路中，所以电压线圈的电阻值大，而电流线圈的电阻值小，根据以上不同点，可用以下方法来判别。

（1）万用表法

将万用表置于 $R\times100$ 档，一支表笔接 1 号接线端子，另一支表笔依次接触 2、3、4 端

子，如果 1、2 端子的电阻为“0”，则表明电流线圈接线正确，否则说明电流线圈断线或接触不良；如果 1、3 端子的电阻大于 1kΩ，则表明电压线圈接线也正确，否则说明电压线圈短路或断路。

（2）校验灯法

如图 11-46 所示，将电源相线接电能表的 1 号端子，将校验灯的两接头分别接电源中性线和电能表的 2 号端子，然后接通电源，如校验灯正常发光，说明 1、2 两端子间为电流线圈且线圈接线正常；如校验灯不亮，则表明接线有误或接触不良。同法测量 1、3 两端子时，若灯泡很暗，说明这两个端子所接为电压线圈，且线圈接线正常；若校验灯正常发光，说明接线有误或电压线圈短路。

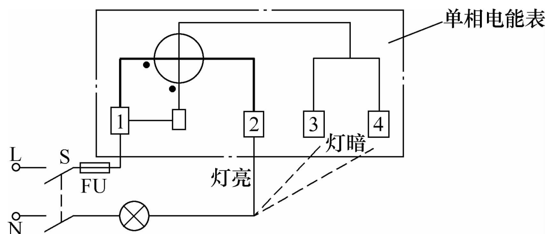


图 11-46　用校验灯判断单相电能表内部接线

2. 单相电能表外部接线的简便判别

（1）用试电笔判断

在图 1-46 中，用试电笔分别测量 1、2 接线端都亮，而测量 3、4 接线端时电笔都不亮，则表明相线与中性线接线没有接反，否则可能是相线与中性线接反。然后观察 1、3 接线端，若它们同为电源的进线，则表明电能表接线正确。

（2）万用表判断

同万用表判断相线与中性线一样，将万用表的量程开关置于 AC250V 档，黑表笔接自来水管或大地，红表笔与 1、2 接线端接触，再与 3、4 接线端接触，若万用表前两次示值远大于后两次示值，表明相线与中性线没有接反。

（3）用钳形表判断

正常时，单相电能表的相线、中性线上通过的电流应大小相等、方向相反，所以将进入电能表的两根电源线同时套入钳形表钳口，测得的和电流应为零，否则如果相线、中性线的电流不等，或仅在相线或中性线上有电流，说明电能表出线端有接地或窃电现象。

二、三相电能表的接线检查

1. 用相序表测量相序

用相序表判别三相电能表所接三相电压的相序如图 11-47 所示，将电能表接线柱上的三相电压分别对应接入相序表的 3 个接线柱上，按下按钮（不要超过 10min），如果相序表顺时针转动，则三相电压为正相序，否则为逆相序。

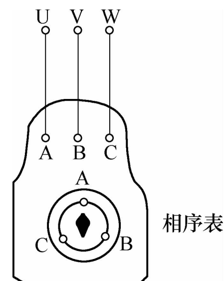


图 11-47　用相序表判别三相电能表所接三相电压的相序

2. 电压交叉法检查

使用电压交叉法检查电能表接线时，将三相两元件电能表的原 U 相电压接线改接到 W 相，W 相电压接线改接到 U 相，电能表电压接线改接后，如图 11-48a 所示，矢量分析如图 11-48b 所示。

电能表电压接线改接后的计量功率为

$$P = P_U + P_W = U_{WV}I_U\cos(90° + \varphi) + U_{UV}I_W\cos\varphi(90° - \varphi)$$
$$= -UI\sin\varphi + UI\sin\varphi = 0$$

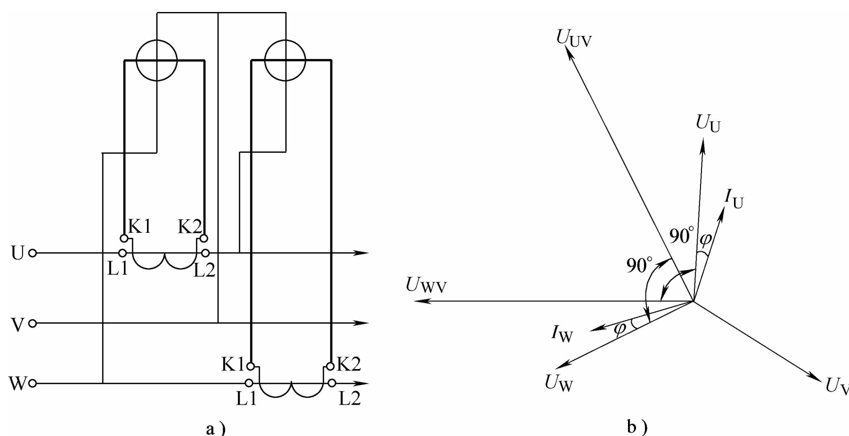


图 11-48　电能表电压接线改接后

a）原理接线　b）矢量分析

电能表电压线圈改接后，电能表停转，表明电能表原接线正确，将检查时改接的电压接线改为原接线，使电能表准确计量。

3. 电流交叉法检查

使用电流交叉法检查电能表接线时，将三相两元件电能表的原第一元件电流线圈改接到 W 相电流互感器，第二元件电流线圈改接到 U 相电流互感器，如图 11-49 所示。

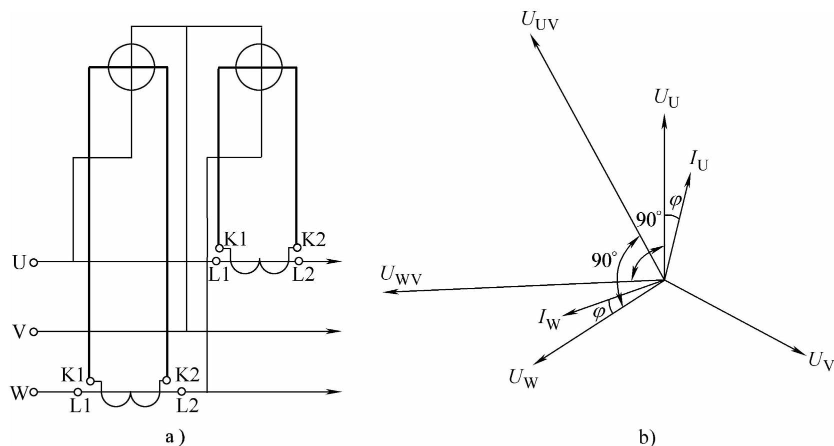


图 11-49　电流线圈改接后

a）原理接线　b）相量分析

电能表电流线圈改接后计量到的功率为

$$P = P_U + P_W = U_{UV}I_W\cos(90° - \varphi) + U_{WV}I_U\cos(90° + \varphi)$$
$$= UI\cos\varphi - UI\cos\varphi = 0$$

电能表电流线圈改接后，电能表停转，表明电能表原接线正确，将检查时改接的电流接

线改为原接线，使电能表准确计量。

4. 用 V 相电压断开法

三相电压平衡时，三相三线两元件有功电能表的总功率 $W = \sqrt{3}UI\cos\varphi$ ，当断开 V 相电压后，电能表的功率为 $\frac{\sqrt{3}}{2}UI\cos\varphi$ ，功率表达式是原来的一半，所以电能表的转矩和转速都降为正常时的一半，而错误的接线则不是这样的关系。检查时，保持负载不变，先记下正常时电能表在一定时间所转动的圈数 N_1，然后断开中间相，再记下相同时间内电能表所转动的圈数 N_2，如果电能表仍旧正转且 $N_1 = 2N_2$，则表时接线正确，而其他的接线都是错误的，见表 11-19。

表 11-19　用 V 相电压断开法判别电能表接线

序号	抽中相电压前后电能表转向及转速	结　论
1	抽前正转，抽后正转，但转速较前慢一半	接线正确
2	抽前正转，抽后反转，但转速较前慢一半	元件 1、2 相序正确，元件 1 电流极性反
3	抽前反转，抽后正转，但转速较前慢一半	元件 1、2 相序正确，元件 2 电流极性反
4	抽前反转，抽后反转，但转速较前慢一半	元件 1、2 相序正确，但电流极性均反
5	抽前不转，抽后反转	元件 1、2 相序接反，电流极性正确
6	抽前正转，抽后正转，但转速为抽前的 1/4	元件 1、2 相序错误，且元件 1 电流极性反
7	抽前正转，抽后正转，但转速为抽前的 1/4	元件 1、2 相序错误，且元件 2 电流极性反
8	抽前不转，抽后正转	元件 1、2 相序错误，且元件 1、2 电流极性反

在采用电压交叉法或 V 相电压断开法判别电能表接线是否正确之前，应先检查电能表的电流线圈是否通有 V 相电流，如果 U、W 两相电流线圈中一相通有 V 相电流，则不能采用电压交叉法和 V 相电压断开法来判别接线是否正确。因为当 V 相电流进入电能表电流线圈后，在某些情况下，即使接线错误，也会有相同的现象。

三、电能计量装置的断线检查

1. 单相电能表的断线检查

如果运行中的单相电能表停转，应检查电能计量装置中的电流、电压二次回路中是否有断线现象。

用钳形电流表测量电流互感器的二次电流，如果电流为零，说明电流回路已断线。

用万用表测量电能表电压端子之间的电压，如果电压为零，表明电压回路已断线。

经检查发现电流或电压回路断线后，应更换导线重新接好，使电能表正常运转。

2. 三相三线电能表的断线检查

（1）低压计量电能表的断线检查

三相三线两元件电能表与两台电流互感器二次线圈之间采用四线连接。可使用钳形电流表检查电能表电流回路是否断线。检查时，将钳形电流表的电流挡调到适当的档位，逐一钳住每相电流的导线进行测量，若 U 相、W 相电流基本平衡，即每次所测电流值应基本相同；若其中一次测量值为零，则应考虑该相有断线现象，应认真检查处理。

用钳形电流表测量电流互感器的二次电流，如果电流为零，说明电流回路已断线。

使用万用表分别测量电能表电压端子 U、V、W 相之间的电压，正常对应为 380V，如

果某相断开，则某相电压为 0V 或 190V。三相三线电能表电压断线后，电压测量值见表 11-20。

表 11-20　三相三线电能表电压断线后的测量值

断　线　相	U_{UV}/V	U_{WV}/V	U_{UW}/V
正常	380	380	380
U	0	380	380
V	190	190	380
W	380	0	380

（2）10kV 计量电能表的断线检查

使用钳形电流表测量电流互感器二次电流，如果电流为零，说明电流回路已断线。

10kV 电压互感器一般都采用 V/V 接线。正常接线时，电压互感器二次侧端子之间的电压为 100V。当一次侧或二次侧出现某相断线后，其二次侧线电压中，会有一个或两个线电压明显低于 100V。当一、二次侧某相断线后，在二次侧测量的电压值见表 11-21。

表 11-21　V/V 接线电压互感器一相断线后在二次侧测量的电压值

断压相	线　电　压/V								
	二次空载			二次接一只有功表			二次接一只有功表,一只无功表		
	U_{uv}	U_{vw}	U_{wu}	U_{uv}	U_{vw}	U_{wu}	U_{uv}	U_{vw}	U_{wu}
正常	100	100	100	100	100	100	100	100	100
u	0	100	0	0	100	100	50	100	50
v	0	0	100	50	50	100	66.7	33.3	100
w	100	0	0	100	0	100	100	33.3	66.7
U	0	100	100	0	100	100	50	100	50
V	50	50	100	50	50	100	50	50	100
W	100	0	100	100	0	100	100	33.3	66.7

3. 三相四线电能表的断线检查

三相四线电能表电流线圈与 3 台电流互感器二次绕组采用六线连接，用钳形电流表分别测量每相电流，如果三相测量的电流基本相同，则无断线现象；若某相电流为零，表明该相电流回路已断线。

使用万用表分别测量电能表电压端子 U、V、W、N 之间的电压，接线正常时，线电压为 380V，相电压为 220V。直接式三相四线电能表一相断线后测量的电压值见表 11-22。

表 11-22　直接式三相四线电能表一相断线后测量的电压值

断　压　相	线电压、相电压/V					
	U_{UV}	U_{UN}	U_{VW}	U_{VN}	U_{WU}	U_{WN}
正常	380	220	380	220	380	220
U	220	0	380	220	220	220
V	220	220	220	0	380	220
W	380	220	220	220	220	0

4. 低压电流互感器电流比检查

运行中低压电流互感器电流比检查，常采用钳形电流表测量一、二次电流值，计算电流比后与电流互感器铭牌上标注的电流比进行比较。

四、互感器极性接反检查

1. 电流互感器极性接反检查

(1) 单相电能表的接线检查

在安装单相电能表时，如果将电流互感器的 K2 端子接进电能表电流线圈进线端，K1 端子接进电能表电流线圈的出线端，则电能表反转，单相电能表电流线圈接反时，如图 11-50a 所示，图中（K2）、（K1）表示电流线圈接反。电能表电压、电流相量分析如图 11-50b 所示。

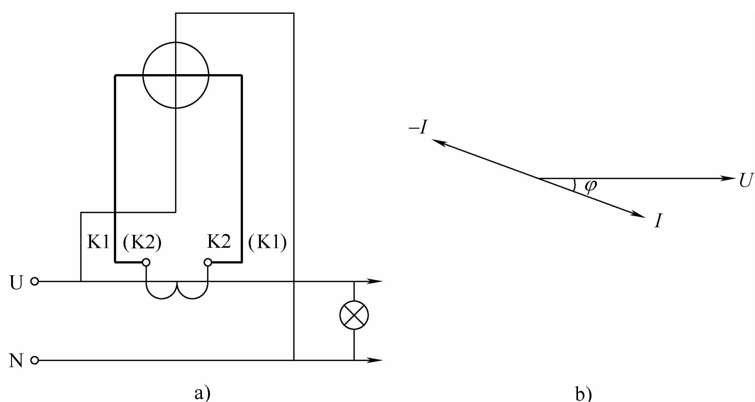


图 11-50　单相电能表电流互感器二次极性接反

a）接线原理　b）相量分析

电能表电流线圈接反时计量到的功率为

$$P = UI\cos(180 - \varphi) = -UI\cos\varphi$$

安装好的单相电能表，如果发现反转，应检查电流互感器二次线圈极性是否接反，如果接反，应及时改正接法。

(2) 三相三线电能表电流互感器极性检查

如果把三相三线电能表电流互感器的极性接反，电能表计量将不准。如将 U 相电流互感器二次线圈极性接反，如图 11-51a 所示，图中（K1）、（K2）表示错误接线。电流回路如图 11-51b 所示，矢量分析如图 11-51c 所示。

三相三线电能表的两台电流互感器极性正确接线时，从图 11-51c 中可知，I_U 与 I_W 电流相量合成为 I。如果两台电流互感器中有一台极性接反时，则 I_U 与 I_W 电流相量合成为$\sqrt{3}I$。检查接线时，将进入电能表的 U、W 相电流同时穿过钳形表钳口中央，测量两相电流的矢量合。若测量值与 U、W 相接近，说明 TA 极性一致；若测量值接近于 U、W 相的 1.73 倍，则说明进入电能表的电流线必有一相接错。

经电流互感器的三相三线电能计量装置电流接反分析见表 11-23。

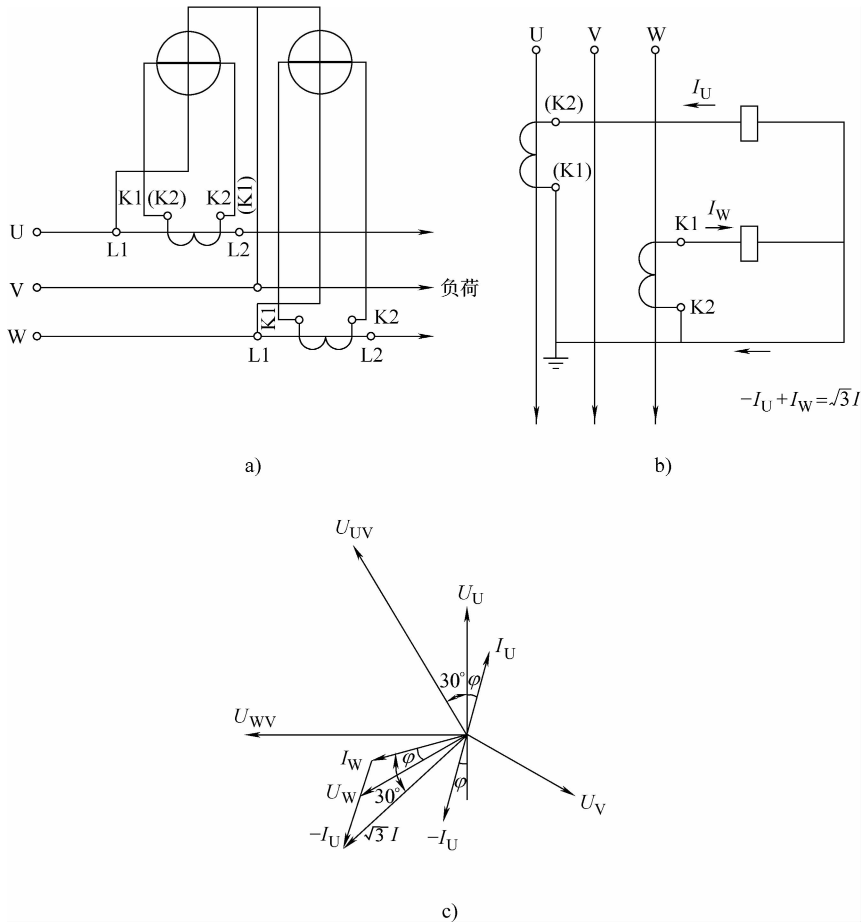


图 11-51　三相三线电能表 U 相电流互感器极性接反

a）错误接线　b）电流回路　c）相量分析

表 11-23　经电流互感器三相三线电能计量装置电流接反分析

$\lvert \dot{I}_U+\dot{I}_W \rvert$	电能表正转（感性负载）	电能表反转（感性负载）
I	接线正确	两相均接反
$\sqrt{3}I$	I_U 接反	I_W 接反

三相三线电能表 U 相计量到的功率为

$$P_U = U_{UV}I_U\cos[180° - (30° + \varphi)] = -U_{UV}I_U\cos(30° + \varphi) = -\frac{\sqrt{3}}{2}UI\cos\varphi + \frac{1}{2}UI\sin\varphi$$

W 相计量到的功率为

$$P_W = U_{WV}I_W\cos(30° - \varphi) = \frac{\sqrt{3}}{2}UI\cos\varphi + \frac{1}{2}UI\sin\varphi$$

电能表计量到的功率为

$$P = P_U + P_W = -\frac{\sqrt{3}}{2}UI\cos\varphi + \frac{1}{2}UI\sin\varphi + \frac{\sqrt{3}}{2}UI\cos\varphi + \frac{1}{2}UI\sin\varphi = UI\sin\varphi$$

电能表正转，但计量到的却是无功功率，应改正接线，使电能表计量正确。

（3）三相四线电能表电流互感器极性检查

三相四线电能表有 3 个电流线圈，分别与 3 台电流互感器二次线圈连接。如果 U 相电流互感器二次电流线圈极性接反，如图 11-52a 所示，图中（K1）、（K2）为错误接线。相量分析如图 11-52b 所示。

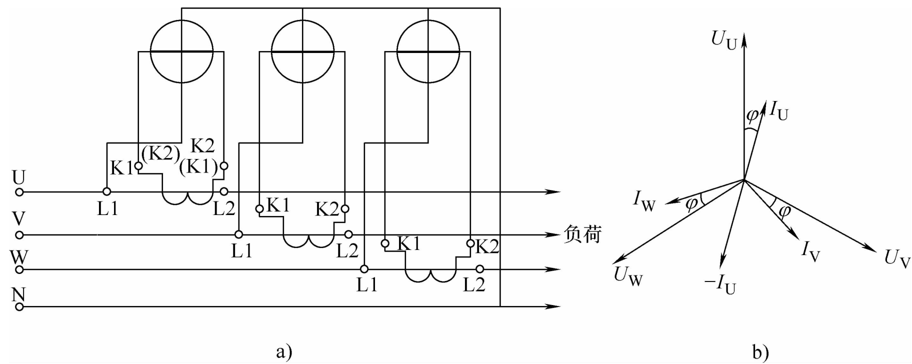


图 11-52　三相四线电能表 U 相电流互感器极性接反

a）错误接线　b）相量分析

从对图 11-52b 的相量分析中可知，U 相电流互感器极性接反后，$I_U + I_V = \sqrt{3}I$，$I_V + I_W = I$，$I_U + I_W = \sqrt{3}I$。经电流互感器三相四线电能计量装置电流接反分析见表 11-24。

表 11-24　经电流互感器三相四线电能计量装置电流接反分析

$\lvert\dot{I}_U+\dot{I}_V\rvert$	$\lvert\dot{I}_V+\dot{I}_W\rvert$	$\lvert\dot{I}_U+\dot{I}_W\rvert$	电能表正转(感性负载)	电能表反转(感性负载)
I	I	I	接线正确	三相均接反
$\sqrt{3}I$	$\sqrt{3}I$	I	I_V 接反	I_U,I_W 接反
I	$\sqrt{3}I$	$\sqrt{3}I$	I_W 接反	I_U,I_V 接反
$\sqrt{3}I$	I	$\sqrt{3}I$	I_U 接反	I_V,I_W 接反

电能计量装置 U 相电流互感器极性接反后，U 相计量到的功率为

$$P_U = U_U I_U \cos(180° - \varphi) = -U_U I_U \cos\varphi$$

V 相计量到的功率为

$$P_V = U_V I_V \cos\varphi$$

W 相计量到的功率为

$$P_W = U_W I_W \cos\varphi$$

电能表计量功率为

$$P = P_U + P_V + P_W = -UI\cos\varphi + UI\cos\varphi + UI\cos\varphi = UI\cos\varphi$$

电能表正转，但少计电量。

2. 10kV 电压互感器极性接反检查

用万用表测量电能表接线盒内的三相电压极性是否接反。用万用表测量电能表接线盒内的三相线电压，如果 3 个线电压都约为 100V，说明电压互感器极性正确。

V 形接线的电压互感器无论是 U 相还是 W 相，二次极性接反时，其二次电压测量值 $U_{uv}=100V$，$U_{vw}=100V$，$U_{uw}=173V$。若有此测量结果，即可判断有一相电压互感器极性接反。

当三相三线电能表采用的是感应式电能表时，负荷若为感性，电能表又正转，则可以判断是U相二次极性接反；若电能表反转，则可判断是W相二次极性接反。

五、电能表准确度的现场测试

电能表准确度的现场测试如图11-53所示，断开其他用电器，接上100W的白炽灯，合上开关的同时，记录电能表转5圈所需的时间，然后将5圈（长些更好）所需的时间除以5得出每圈所需的时间，算出一圈所用的时间 T_1，然后与式（11-10）所算时间 T 比较。若 $T_1 > T$，表示电能表转速偏慢；若 $T_1 < T$，表示电能表转速偏快。计量时间越长，计算结果就越准确。

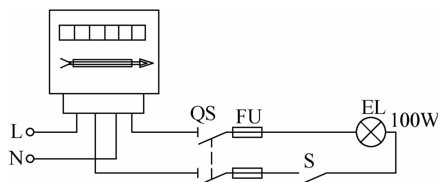


图11-53　电能表准确度的现场测试

电能表转一圈所需时间可按式（11-10）计算，即

$$T = \frac{\mathrm{kW \cdot h}}{PC} \qquad (11\text{-}10)$$

式中，T 为电能表转盘转一圈所需时间，单位为s；kW为功率；h为时间；P 为负载功率，单位为W；C 为电能表常数，单位为r/kW·h（脉冲数）。

例如，某单相电能表常数 $C = 720\mathrm{r/kW \cdot h}$，接负载 $P = 100\mathrm{W}$ 的灯泡，实测电能表转1圈所需时间 $T_1 = 55\mathrm{s}$，试判断该电能表的准确度。按式（11-10）计算电能表转1圈所需时间，得

$$T = \frac{\mathrm{kW \cdot h}}{PC} = \frac{1000 \times 3600}{100 \times 720}\mathrm{s} = 50\mathrm{s}$$

该值小于电能表实测时间 $T_1 = 55\mathrm{s}$，故电能表转速偏慢，该表应校验。

第九节　电能计量装置的运行维护

一、电能表的电量抄录与使用

1. 电量抄录

抄表是将用户计费电能表指示电量据实抄录的过程。目前的抄表方式主要有以下几种：

1）使用抄表卡手工抄表方式。抄表员将电能表示数抄录在抄表卡上，回来后由专人录入计算机，这种抄表方式工作效率低、差错率高。

2）使用抄表微机手工抄表方式。抄表员运用抄表微机，在现场手工将电能表示数输入抄表微机，回来后通过计算机接口将数据输入计算机。

3）远红外抄表方式。抄表员使用红外抄表器远距离抄录，且一次可议录入电能表中的若干数据。

4）集中抄表系统（简称集抄）抄表方式。将抄表微机与集中抄表系统的一个集中器相连，一次可将几百只电能表的数据抄录完成。

5）远程（负控）抄表系统方式。在负荷管理控制中心，通过微波或通信线路实现远程抄表。

为保证抄录工作的顺利进行，抄表前应做到：①了解所负责抄表的区域和用户情况，特别是新用户的基本资料；②掌握抄表日的排列顺序；③合理设计抄表线路；④检查应配备的

抄表工具。

现场抄表时，抄表员必须要查看表抄录示数，一般客户抄全所有整数位数；如果客户装有计量互感器，应抄录示数的小数位；对于多功能电能表要检查有无反向电量，如有反向电量，也应抄录反向电量，并做好记录；抄录当月最大需量的示数时，还必须抄录上月需量的冻结数；对于有分表的用户，除抄录用户的总表示数外，用户的所有分表也必须同步抄录。

抄录新装和变更用户的电能表示数时应注意：①核对用户的户名、地址、电能表编号，②核对用户的用电性质、电价、互感器变比、变压器容量；③核对电能计量装置情况；④核对总、分表关系；⑤核对功率因数调整电费考核标准是否正确。

2. 三相电子式多功能电能表的读取

DSSD 型三相三线、DTSD 型三相四线电子式多功能电能表，液晶全屏显示画面如图 11-54 所示，液晶显示符号含义见表 11-25。

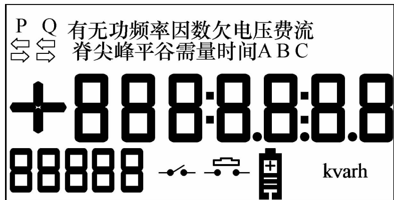


图 11-54　液晶全屏显示画面

表 11-25　液晶显示符号含义

符　　号	含　　义
kVVArh	单位指示：kW·h（有功电量），kW（有功功率）kvar·h（无功电量），kvar（无功功率）
P⇨ P⇦ Q⇨ Q⇦	电量方向 指向右边：正向，输入 指向左边：反向，输出
	无功象限指示： Ⅰ象限、Ⅱ象限、Ⅲ象限、Ⅳ象限
	感性无功为Ⅰ、Ⅳ象限，Ⅰ、Ⅱ象限之和
	无功为Ⅱ、Ⅲ象限，Ⅲ、Ⅳ象限，4 象限无功之和
	电池电压指示，当电池欠电压时闪烁
	报警跳闸继电器动作指示
	按钮指示
欠电压　欠电流　欠费	失电压、失电流、欠电费指示
有无功频率因数欠电压费流脊尖峰平谷需量时间 ABC	参数指示，通过这些汉字的组合，表示显示数据的含义
88888	代码、费率、存储值指示

多功能电能表代码含义见表 11-26。

表 11-26　多功能电能表代码含义

内　　容	88888				
	第一位	第二位	第三位	第四位	第五位
0	电能量	总	总	正向有功	总
1	需量	上 1 月	A	感性无功	尖峰
2	需量时间	上 2 月	B	反向有功	峰
3	功率	上 3 月	C	容性无功	平
4	电压	上 4 月		无功(Ⅰ)	谷
5	电流	上 5 月		无功(Ⅱ)	脊谷
6	功率因数	上 6 月		无功(Ⅲ)	
7	其他	上 7 月		无功(Ⅳ)	
8	参数	上 8 月			
9	时段	上 9 月			
10		上 10 月			
11		上 11 月			
12		上 12 月			

多功能电能表显示内容图例见表 11-27。

表 11-27　多功能电能表显示内容图例

显 示 图 形	代　　码	含　　义
P Q 有无功频率因数欠电压费流 ⇦⇦脊尖峰平谷需量时间 A B C +888:8.8.8:8.8 88888 kWArh	88888	显示检验
P Q 有　功 ⇨⇨ 12345.67 00000 kW h	00000	正向有功总电量 12345. 67kW · h
	01000	上 1 月有功总电量
	00010	感性无功总电量
	00002	正向有功峰总电量
P Q　无功 ⇨⇨ 260.08 00040 k VArh	00040	Ⅰ象限无功总电量 260. 08kvar · h
	00050	Ⅱ象限无功总电量
	00060	Ⅲ象限无功总电量
	00070	Ⅳ象限无功总电量
P Q 有　功 ⇨⇨　需量 3.800 10000 kW	10000	当前有功总最大需量 3. 8kW
	10001	尖峰时段最大需量
	11000	上一月最大需量

（续）

显示图形	代码	含义
PQ 有功 需量时间 1208:10:30 20000 h	20000	总最大需量发生时间 12 月 08 日 10 时 30 分
	20002	峰最大需量出现时间
	21000	上一月总最大需量出现时间
PQ 有功率 3.300 30000 KW	30000	当前有功功率 3.3kW
PQ 无功率 1.700 30010 k VAr	30010	当前无功率 1.7kvar
PQ 电压 A 220.00 40100 V	40100	A 相电压 220V
	40200	B 相电压
	40300	C 相电压
PQ 电流 A 1.500 50100 A	50100	A 相电流 1.5A
	50200	B 相电流
	50300	C 相电流
PQ 频率因数 0.980 60000	60000	当前功率因数 0.980
PQ 频率 50.03 70000	70000	当前频率 50.03Hz
PQ 欠电压时间 345:07 70020	70020	总失压累计时间 345h;7min
	70021	A 相失压累计时间
	70022	B 相失压累计时间
	70023	C 相失压累计时间

3. 多功能电能表的使用

（1）电能表显示

1）循环显示：上电后液晶屏进入循环显示状态，每隔设定间隔将自动更换一屏数据。

2）按钮切换显示：在循环显示下，按动 1# 按钮，电能表将闪烁显示“⊸⊸”，指示电能表进入按钮切换显示状态，此时88888显示“00000”。按动 1# 按钮显示代码的第一位加

1，进行显示量类别的选择；按动$2^{\#}$按钮显示代码的第二位加1，显示各存储月电量数据；按动$3^{\#}$按钮依次显示有功、无功的各费率数据。

3）设定参数状态显示：按下小门后$4^{\#}$按钮，电能表将进行设定参数状态显示，显示代码为“CCCCC”，再按一下小门后$4^{\#}$按钮，恢复为以前正常显示状态。

4）故障显示：电能表在运行中自动进行自检，故障显示画面显示自检结果。显示为“EE-××××”。××××代码的含义为：

0000：无错误；0001：A-D故障；0002：内部E^2PROM故障；0003：时钟故障；0004：内部电池欠电压；0005：外部电池欠电压；0007：电压逆相序；0008：失电压；0009：过电压；0010：失电流。

5）报警灯指示：当发生A-D、内部存储器、时钟、电池欠电压、逆相序、过电压、失电压时，故障指示灯闪烁。

停电抄表：当电能表停电后需抄表时，按动$3^{\#}$按钮，电能表将出现全显画面，之后按设定项目及间隔进行循环显示。显示完后回到“黑屏”状态。

注意：在按钮切换状态下，3min内无按钮操作，将自动返回循环显示状态。

（2）最大需量和电量结算

自动结算：每个结算日的结算时刻（可设定，出厂常规设定为1日的零点，即前一月末24点）电能表自动进行结算。而各月各费率段最大需量值、发生日期自动存入前一个月，并且当前值清零；当前各费率段电量值存入上月，而其他各月电量转存入前一个月。

最大需量手动复位：通过RS-485或红外通信口发出清需量命令，电能表将当前最大需更是清零。

（3）电能表清零、设置参数、对时及设置通信地址

电能表在出厂前已进行了清零、对时、参数设置等工作，但用户在安装前可能仍要进行这些工作。以上工作均需要通过光通信口或RS-485口，使用PC或手抄器运行相应软件来进行。注意在设置电能表通信地址时需按住$2^{\#}$按钮，直到设置成功。用户设置参数时需进行密码校对。

（4）电池更换

当液晶屏上 符号闪烁时，表示电池欠电压。本表计有两个电池：一个位于电能表内部，用于停电后提供时钟运行，另一个放置在外部的电能表小门电池盒中，用于停电后维持电能表低功耗工作。两个电池中的一个欠电压或不接，都会引起电池欠电压报警。为了判断是哪个电池欠电压，请查看错误显示画面判断。

对于内部电池问题，用户需及时通知厂家解决处理。

对于外部电池问题，用户可以按如下方法更换电池：

1）将电池盒盖缓慢向逆时针方向拧30°到正中位置，电池盖将被弹出。

2）取出电池，并且将新电池放入（正极在外）。

3）将电池盖压入，同时顺时针方向拧紧。

更换外部电池，应在电能表有电的情况下进行，否则会造成电池功耗加大，电能表停电抄表功能不正常。在插入电池时，一定要特别注意极性（+极在外），如果电池接反，会损坏电池。

二、电能表的常见故障与处理

1. 电能表的常见故障

电能表由于调试、安装、使用不当会引起故障。常见故障如下：

1）表计烧杯：表计有明显的放电和电弧灼伤痕迹。

2）损坏：表计受外力损坏。包括外壳的损坏。

3）潜动：当机械电能表电流线路无负载电流而电压线路在 80% ~110% 额定电压时，电能表转盘转动应不超过 1r，如超过 1r 或转盘不停地转动，即为潜动，俗称空走。误差校验不准、电网电压波动过大会造成潜动。

4）表停：表停是电能表转动及字车进位系统常见故障，表现为启动不良、时走时停。其原因主要有齿轮啮合深度不够造成盘转不翻字，啮合过深造成卡死；转盘不平或电磁元器件装配位置不良造成擦盘；表密封不良，灰尘、小虫爬入引起卡死。

电能表的电压小钩（电流端钮与电压线圈连接的螺钉片）松动会使电能表转盘不转或微转。

5）倒走：分非故障性倒走和故障性倒走，用户正在使用电能，但电能表的转盘向反方向转动。

非故障性倒走：由于电气设备在不同用电情况下会使电能表倒转，这并不是故障引起的，一般有下列几种情况：

①当电动机作为制动设备使用时，外加机械功率使电动机转速超过同步转速，电动机成为发电机，使有功表倒走，如起重电动机下放重物时就会出现。

②2 台变压器并列运行的环流影响。

③单相 380V 负荷（如电焊机）在采用 3 只单相表代替三相有功表计量时，当电焊机的功率因数低于 0.5 时，其中一只单相表会倒走。

④用电单位内部由自发电机向电网倒送，而电能表未装止逆装置时，电能表倒走。

⑤无功表在功率因数超前时(如未装止逆装置时)发生以上情况，有时会引起电能表倒走。

故障性电能表倒走：

①单相表进出线接错，引起表针倒走。

②三相三线有功表当 U_c 断相，而负荷功率因数又低于 0.5 时，电能表倒走。

③无功表相序接反，可能使电能表倒走。

④三相三线有功表，误接线时：如 C 相电流互感器（TA）极性接反或 A、C 两相 TA 极性全部接反会引起电能表反转。

6）超差：电能表的实际误差超出电能表本身应有的准确度等级，即额定值的允许范围，俗称过快过慢。误差校验不准、外力破坏引起表内元器件松动、电压波动过大、环境温度会引起超差。

7）表响：发自电能表的响声过大（一般感应式电能表其响声在普通环境中离开电能表 1m 处听不出即可认为合格）。电磁线圈或铁心松动、上轴承孔过大或少油、轻微擦盘、外力破坏都会引起表响。

8）表烧：由于雷击、超负荷、接线松、遇雨受潮等造成表计烧坏，烧坏后会有潜动、误差大、表停、冒烟等现象。

9）施工不当、外力破坏、振动造成表玻璃及表壳破损。

10）跳字：表的计字车不能正常进位。用户正常使用电能，但计数器的示数不正常地向上或向下翻转，造成客户电量的突增、突减。

11）卡字：客户正常使用电能，但电能表的计数器停止翻转。如果发现电能表计数器中有一个或几个数字（不包括最后一位）始终显示一半，一般也会造成卡字。

12）卡盘：客户正在使用电能，但电能表的转盘不转动。

13）电子式电能表误发脉冲：客户没有用电或用电量很小时，电子式电能表仍在不停地发脉冲计数。

14）液晶无显示：电子式电能表的液晶显示屏不能正常显示。

2. 电能表的故障处理

客户认为供电企业装设的计费电能表不准时，有权向供电企业提出校验申请，在客户交付验表费后，供电企业应在 7 天内检验，并将检验结果通知客户。如计费电能表的误差在允许范围内，验表费不退；如计费电能表的误差超出允许范围，除退还验表费外，供电企业要按规定退还电费。客户对检验结果有异议时，可向供电企业上级计量检定机构申请检定。客户在申请验表期间，其电费仍应按期缴纳，验表结果确认后，再行退还电费。

注："7 天内"是《供电营业规则》的规定，各地方根据其承诺可以有不同的规定，但不超过 7 天。

客户对计费电能表及其附件应妥善保护，不应在表前堆放影响抄表或计量准确及安全的物品。

如发生计费电能表丢失、损坏或超负荷烧坏等情况，客户应及时告知供电企业，以便供电企业采取措施。除因供电企业责任或不可抗力致使计费电能表出现故障的，由供电企业负责换表，不收费用之外，其他原因引起的，客户应负担赔偿费或修理费。

3. 电能表的轮换和校验周期

（1）轮换周期

单相电能表每 5 年轮换 1 次：双宝石轴承电能表轮换周期为 10 年；电子式电能表轮换周期一般为 5 年，但根据实际使用情况，经省级以上计量检定机构批准可延长 5～10 年。

（2）现场校验周期

一类电能表每 3 个月校验 1 次；二类电能表每半年校验 1 次；三类电能表每 1 年校验 1 次；其他电能表每 2 年轮换代替校验。

第十节　电能电费的计算

一、电能电费的计算原则

1）动力电费 = 电量 × 单价。

2）照明电费 = 电量 × 单价。

3）功率因数调整电费 =（动力电费 + 照明电费）× 功率因数调整率。

4）用户当月应缴电费 = 动力电费 + 照明电费 + 功率因数调整电费。

5）注意事项，10kV 线路及配电变压器为用户专供线路，采用高供低计方式计量时，计算电量应包括抄见电量、线路损耗电量及配电变压器损耗电量。此外，还严格执行国家电价政策，城乡居民照明用电实行阶梯电价。

二、线损率的计算

10/0.4kV 配电系统线损率可按式（11-11）计算，即

$$\Delta W\% = \frac{\Delta W}{W_1} \times 100\% = \frac{W_1 - W_P}{W_1} \times 100\% \tag{11-11}$$

式中，$\Delta W\%$ 为线损率，单位为%；ΔW 为线损电量，单位为 kW · h；W_1 为供电量，单位为 kW · h；W_P 为用电量，单位为 kW · h。

三、线路电能损耗的计算

线路有功功率损耗按式（11-12）计算，即

$$\Delta P = 3I^2R \times 10^{-3} = 3\left(\frac{S}{\sqrt{3}U}\right)^2 R \times 10^{-3} = \frac{S^2}{U^2}R \times 10^{-3} = \frac{P_{av}^2 + Q_{av}^2}{U^2}R \times 10^{-3} \tag{11-12}$$

式中，ΔP 为有功功率损耗，单位为 kW；U 为线路电压，单位为 kV；P_{av} 为平均有功功率，单位为 kW；Q_{av} 为平均无功功率，单位为 kvar；R 为电阻，单位为 Ω。

线路线损电量可按式（11-13）计算，即

$$\Delta W = \Delta Pt \tag{11-13}$$

式中，ΔW 为线损电量，单位为 kW · h；ΔP 为线损有功功率，单位为 kW；t 为供电时间，单位为 h。

【例 11-1】 某用户 10kV 电源供电，线路长度 $L = 8$km，采用 LGJ-185 型钢芯铝绞线，导线单位长度电阻 $R_0 = 0.185$Ω/km。某月用电平均有功负荷 $P_{av} = 781$kW，平均无功负荷 $Q = 383$kvar，月用电时间 $t = 720$h。电源变电站 10kV 关口表月抄见电量 $W = 562320$kW · h。试计算该线路有功功率损耗值、电量损耗值，及线损率。

解： 1. 线路电阻计算

线路电阻按式（1-39）计算，即

$$R_L = R_{0L}L = 0.185 \times 8\Omega = 1.48\Omega$$

2. 线路有功功率损耗的计算

线路有功功率损耗按式（11-12）计算，即

$$\Delta P = \frac{P_{av}^2 + Q_{av}^2}{U^2}R_L \times 10^{-3} = \frac{781^2 + 383^2}{10^2} \times 1.48 \times 10^{-3}\text{kW} = 11.2\text{kW}$$

3. 线路损耗电量的计算

线路损耗的电量按式（11-13）计算，即

$$\Delta W = \Delta Pt = 11.2 \times 720\text{kW} \cdot \text{h} = 8064\text{kW} \cdot \text{h}$$

4. 线路电量损耗的百分数

线路电量损耗百分数按式（11-11）计算，即

$$\Delta W\% = \frac{\Delta W}{W} \times 100\% = \frac{8064}{562320} \times 100\% = 1.43\%$$

四、配电变压器电能损耗的计算

配电变压器采用高供低计时，应计算配电变压器的电能损耗。

1. 有功铁损电能的计算

配电变压器有功铁损电能可按式（11-14）计算，即

$$\Delta W_{PFe}=\Delta P_o t \tag{11-14}$$

式中，ΔW_{PFe}为有功铁损电能，单位为 kW·h；ΔP_o 为空载损耗功率，单位为 kW；t 为空载损耗计算时间，720h/月。

2. 无功铁损电能的计算

配电变压器无功铁损电能可按式（11-15）计算，即

$$\Delta W_{qFe}=\sqrt{\left(\frac{I_o\%}{100}\times S_N\right)^2-\Delta P_o^2}\ t \tag{11-15}$$

式中，ΔW_{qFe}为无功铁损电能，单位为 kW·h；$I_o\%$ 为配电变压器空载电流百分比；S_N 为配电变压器的额定容量，单位为 kV·A；ΔP_o 为配电变压器的空载损耗，单位为 kW；t 为无功铁损电量计算时间，720h/月。

3. 有功铜损电能的计算

配电变压器有功铜损电能可按式（11-16）计算，即

$$\Delta W_{PCu}=K_{PCu}W_P \tag{11-16}$$

式中，ΔW_{PCu}为有功铜损电能，单位为 kW·h；K_{PCu}为有功铜损电能系数；W_P 为有功抄见电能，单位为 kW·h。

配电变压器有功铜损电能系数见表 11-28。

表 11-28　配电变压器有功铜损电能系数

配电变压器额定容量/kV·A	系数 K_{PCu}
4000 及以上	0.005
315 及以上	0.01
315 及以下	0.015

4. 无功铜损电能的计算

配电变压器无功铜损系数可按式（11-17）计算，即

$$K_{qCu}=\frac{\sqrt{\left(\frac{u_K\%}{100}S_N\right)^2-\Delta P_K^2}}{\Delta P_K} \tag{11-17}$$

式中，K_{qCu}为无功铜损系数；$u_K\%$ 为阻抗电压百分数；S_N 为配电变压器的额定容量，单位为 kV·A；ΔP_K 为配电变压器的负载损耗，单位为 kW。

配电变压器无功铜损电能可按式（11-18）计算，即

$$\Delta W_{qCu}=\Delta W_{PCu}K_{qCu} \tag{11-18}$$

式中，ΔW_{qCu}为无功铜损电能，单位为 kW·h；ΔW_{PCu}为有功铜损电能，单位为 kW·h；K_{qCu}为无功铜损电能系数。

5. 功率因数的计算

有功电量 W_P 与无功电量 W_Q 与功率因数 $\cos\varphi$ 角的正切 $\tan\varphi$ 关系为

$$\frac{W_Q}{W_P}=\tan\varphi$$

$$\frac{W_Q^2}{W_P^2}=\tan^2\varphi=\frac{\sin\varphi^2}{\cos\varphi^2}=\frac{1-\cos\varphi^2}{\cos\varphi^2}=\frac{1}{\cos\varphi^2}-1$$

则功率因数为

$$\cos\varphi=\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{W_Q}{W_P}\right)^2}} \tag{11-19}$$

式中，$\cos\varphi$ 为功率因数；W_Q 为无功电量，单位为 kvar · h；W_P 为有功电量，单位为 kW · h

【例 11-2】 某配电所安装 1 台 SBH11-M-2500/10 型非晶合金配电变压器，额定电压 $U_N/U_n=10/0.4$kV，额定容量 $S_N=2500$kV · A，空载损耗 $P_0=0.9$kW，负载损耗 $P_K=20.2$kW，空载电流 $I_0\%=0.20\%$，阻抗电压 $u_K\%=5\%$，计量方式为高供低计，某月用电量为 $W_P=562500$kW · h，月用电时间 $t=720$h，试计算该变压器电能损耗值。

解：（1）有功铁损电能按式（11-14）计算，即

$$\Delta W_{PFe}=\Delta P_0 t=0.9\times720\text{kW}\cdot\text{h}=648\text{kW}\cdot\text{h}$$

（2）有功铜损电量按式（11-16）计算，配电变压器容量 $S_N=2500$kV · A，查表 11-28 得配电变压器有功铜损电能系数 $K_{PCu}=0.01$，则

$$\Delta W_{PCu}=K_{PCu}W_P=0.01\times562500\text{kW}\cdot\text{h}=5625\text{kW}\cdot\text{h}$$

（3）配电变压器月损耗有功电量为

$$\Delta W=\Delta W_{PFe}+\Delta W_{PCu}=648+5625\text{kW}\cdot\text{h}=6273\text{kW}\cdot\text{h}$$

（4）配电变压器有功电量损耗系数按式（11-11）计算，即

$$\Delta W\%=\frac{\Delta W}{W_1}\times100\%=\frac{\Delta W}{W_P+\Delta W}\times100\%=\frac{6273}{562500+6273}\times100\%$$

$$=\frac{6273}{568773}\times100\%=1.10\%$$

五、功率因数考核电费调整的计算

1）功率因数 0.90 标准值适用于：

①160kV · A 以上的高压供电工业客户（包括社队工业客户）。

②装有带负荷调整电压装置的高压供电电力客户。

③3200kV · A 及以上的高压供电电力排灌站。

特别注意：160kV · A 高压供电工业客户的功率因数标准值为 0.85，而不是 0.90。

2）功率因数 0.85 标准值适用于：

①100kV · A(kW)及以上的其他工业客户（包括社队工业客户）。

②100kV · A(kW)及以上的非工业客户。

③100kV · A(kW)及以上的电力排灌站。

3）功率因数 0.80 标准值适用于：100kV · A(kW)及以上的农业户和趸售客户，但大工业客户未划由电业直接管理的趸售客户功率因数标准值应为 0.85。

4）功率因数调整电费增减率的计算：以 0.90 为标准值的功率因数调整电费见表 11-29，以 0.85 为标准值的功率因数调整电费见表 11-30。

表 11-29　以 0.90 为标准值的功率因数调整电费表

减收电费	功率因数	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95～1.00																				
	月电费减少（%）	0.0	0.15	0.30	0.45	0.60	0.75																				
增收电费	功率因数	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	功率因数自 0.64 及以下，每降低 0.01，电费增加 2%
	月电费增加（%）	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	

表 11-30　以 0.85 为标准值的功率因数调整电费表

减收电费	功率因数	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94～1.00																
	月电费减少（%）	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.65	0.80	0.95	1.10																
增收电费	功率因数	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	功率因数自 0.59 及以下，每降低 0.01，电费增加 2%
	月电费增加（%）	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	

【例 11-3】 某一工业用户，以 10kV 供电，安装一台 SBH11—M—160/10 型配电变压器，额定电压 $U_{N1}=10kV$，$U_{N2}=0.4kV$，空载电流 $I_o\%=0.70\%$，空载损耗 $\Delta P_o=100W$，负载损耗 $\Delta P_K=2200W$，阻抗电压 $u_K\%=4\%$。执行高供低计，电流互感器电流比为 300/5，倍率 $K=60$，照明分表为串接表。电能表的抄见示数见表 11-31。

表 11-31　某用户电能表的抄见示数

电能表名称抄见示数	示　数	电能表名称抄见示数	示　数
当月动力表抄见示数	569kW · h	上月照明表抄见示数	42kW · h
上月动力表抄见示数	125kW · h	当月无功表抄见示数	793kvar · h
当月照明表抄见示数	563kW · h	上月无功表抄见示数	370kvar · h

试计算该用户当月应缴电费。

解：（1）有功抄见电量 =（569 − 125）×60kW · h = 26640kW · h。

（2）照明抄见电量 =（563 − 42）kW · h = 521kW · h。

（3）动力抄见电量 = 有功抄见电量 − 照明抄见电量
= （26640 − 521）kW · h = 26119kW · h。

（4）无功抄见电量 =（793 − 370）×60kvar · h = 25380kvar · h。

（5）有功铁损电量 = 空载损耗 × 时间 = $\Delta P_o t$ = 0.1 ×720kW · h = 72kW · h。

（6）无功铁损电量按式（11-15）计算，得

$$W_{QFe}=\sqrt{\left(\frac{I_o\%S_N}{100}\right)^2-\Delta P_o^2}\ t=\sqrt{\left(\frac{0.7\times160}{100}\right)^2-0.1^2}\times720kW\cdot h=803kW\cdot h\ 。$$

（7）有功铜损电量 = 有功抄见电量 ×1.5% = 26640 ×0.015kW · h = 399.6kW · h。

（8）动力有功铜损电量 = 动力抄见电量 ×1.5% = 26119 ×0.015kW · h = 391.785kW · h。

（9）照明铜损电量 = 照明抄见电量 ×1.5% = 521 ×0.015kW · h = 7.815kW · h。

（10）无功铜损系数按式（11-17）计算，得

$$K_{QCu}=\frac{\sqrt{\left(\frac{u_K\%}{100}\times S_N\right)^2-\Delta P_K^2}}{\Delta P_K}=\frac{\sqrt{\left(\frac{4}{100}\times160\right)^2-2.2^2}}{2.2}=2.73$$

（11）无功铜损电量 = 有功铜损电量 × K_{QCu} = 399.6 ×2.73kvar · h = 1090.91kvar · h

（12）有功总电量 = 有功抄见电量 + 有功铁损电量 + 有功铜损电量
= （26640 + 72 + 399.6）kW · h = 27111.6kW · h

（13）无功总电量 = 无功抄见电量 + 无功铁损电量 + 无功铜损电量
= 25380kvar · h + 803kvar · h + 1090.91kvar · h = 27273.91kvar · h

（14）功率因数按式（1-19）计算，得

$$\cos\varphi=\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{无功电量}{有功电量}\right)^2}}=\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{W_Q}{W_P}\right)^2}}=\frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{27273.91}{27111.6}\right)^2}}=0.7$$

查表 11-30（以 $\cos\varphi=0.85$ 为标准值的功率因数调整电费表），电费增加为 7.5%。

（15）动力计费电量 = 动力抄见电量 + 有功铁损电量 + 动力铜损电量
= （26119 + 72 + 391.784）kW · h = 26582.78kW · h

（16）照明计费电量 = 照明抄见表电量 + 照明铜损电量

= 521kW·h + 7.8kW·h = 528.8kW·h

（17）动力电费 = 电量 × 单价 = 26582.78 × 0.798 元 = 21213.058 元

（18）照明电费 = 电量 × 单价 = 528.8 × 0.798 元 = 421.98 元

（19）功率因数调整电费 =（动力电费 + 照明电费）× 功率因数调整率

=（21213.058 + 421.98）元 × 7.5% = 1622.63 元

（20）该用户当月应缴电费 = 动力电费 + 照电费 + 功率因数调整电费

=（21213.058 + 421.98 + 1622.63）元 = 23257.67 元

六、追补电能的计算

如果发现电能计量装置接线错误，使电能表计量不准，应追补电量电费。追补电量更正系数可按式（11-20）计算，即

$$G = P_o / P \tag{11-20}$$

式中，G 为电量更正系数；P 为错误接线时计算功率，单位为 kW；P_o 为正确接线时计算功率，单位为 kW。

追补电量更正率可按式（11-21）计算，即

$$k = G - 1 \tag{11-21}$$

式中，k 为更正率；G 为更正系数。

计费电量可按式（11-22）计算，即

$$W_o = W_c + kW_c \tag{11-22}$$

式中，W_o 为正确接线时总的计费电量，单位为 kW·h；W_c 为错误接线时抄见电量，单位为 kW·h；k 为更正率；kW_c 为追补电量，单位为 kW·h。

例如，一只三相三电能表，U 相电流接反，按式（11-20）计算更正系数，得

$$G = \frac{P_o}{P} = \frac{\sqrt{3}UI\cos\varphi}{UI\sin\varphi} = \frac{\sqrt{3}}{\tan\varphi}$$

按式（11-20）计算更正率，得

$$k = G - 1 = \frac{\sqrt{3}}{\tan\varphi} - 1$$

按此方法，分析计算三相三线电能表错误接线更正率 k 见表 11-32。

表 11-32　三相三线电能表错误接线更正率 k

错误接线情况		电流线圈 U 相接反	电流线圈 W 相接反	电流线圈 1 通入 I_W，电流线圈 2 通入 I_U	U、W 相电压互相接反	U 相电压断线	V 相电压断线	W 相电压断线
k 值计算公式		$\frac{\sqrt{3}}{\tan\varphi}-1$	$-\frac{\sqrt{3}}{\tan\varphi}-1$			$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3}+\tan\varphi}-1$		$\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{3}-\tan\varphi}-1$
功率因数	1.00	—	—	电能表停转	电能表停转	1	1	1
	0.98	7.65	−9.65			0.79		1.26
	0.96	4.96	−6.96			0.71		1.40
	0.94	3.80	−5.80			0.65		1.53

（续）

错误接线情况		电流线圈U相接反	电流线圈W相接反	电流线圈1通入I_W，电流线圈2通入I_U	U、W相电压互相接反	U相电压断线	V相电压断线	W相电压断线
功率因数	0.92	3.11	-5.07	电能表停转	电能表停转	0.61	1	1.64
	0.90	2.60	-4.57			0.56		1.77
	0.88	2.20	-4.20			0.52		1.91
	0.86	1.93	-3.91			0.49		2.04
	0.84	1.70	-3.70			0.46		2.17
	0.82	1.50	-3.50			0.43		2.33
	0.80	1.30	-3.30			0.40		2.39
	0.75	1.00	-2.96			0.33		3.07
	0.70	0.69	-2.69			0.26		3.87
	0.65	0.48	-2.48			0.20		5.17
	0.60	0.33	-2.30			0.14		7.04
	0.55	0.14	-2.14			0.06		15.47
	0.50	0	0			0		-14.84
	0.45	-0.13	-2.13			-0.07		-14.84
	0.40	-0.24	-2.24			-0.14		-7.17

三相四线电能表错误接线更正率 k 见表 11-33。

表 11-33　三相四线电能表错误接线更正率 k

错误接线情况	更正率 k	错误接线情况	更正率 k
一相电流开路	$\frac{1}{2}$	三相电流全接反	-2
两相电流开路	2	一相电压断线	$\frac{1}{2}$
一相电流接反	2	U、V两相电流与电压不同相	停转
两相电流接反	-4	两相电压线圈断线	2

【例 11-4】 有一只三相三线电能表，U 相电流接反，抄得电能表电量为 2000kW · h，平均功率因数 $\cos\varphi = 0.9$，试计算追补电量及实际用电量。

解：由 $\cos\varphi = 0.9$，得 $\tan\varphi = 0.48$，按式（11-21）计算电量追补更正率，得

$$k = \left(\frac{\sqrt{3}}{\tan\varphi} - 1\right) = \frac{\sqrt{3}}{0.48} - 1 = 2.6$$

或查表 11-32 得更正率 $k = 2.6$。

追补电量按式（11-22）计算，得

$$\Delta W = kW_c = 2.6 \times 2000\text{kW} \cdot \text{h} = 5200\text{kW} \cdot \text{h}$$

实际用电量按式（11-22）计算，得

$$W = W_c + \Delta W = W_c + kW_c = (2000 + 5200)\text{kW} \cdot \text{h} = 7200\text{kW} \cdot \text{h}$$

第十二章　二 次 回 路

第一节　二次回路的含义及分类

一、二次回路的含义

为了对配电所的电气设备进行监视、测量、控制和保护，可将继电器、控制开关、按钮、信号装置、操作电源等二次设备进行相互连接，构成对一次设备进行监视、测量、控制和保护的电气回路称为二次回路。二次回路一般包括控制回路、监测回路、信号回路、保护回路、操作回路和操作电源等。

二、二次回路的分类

1. 原理接线图

原理接线图是体现二次回路工作原理的最基本图样，也是绘制展开接线图和安装接线图的基础。在原理接线图中与二次回路有关的一次设备和一次回路是同二次回路画在一起的，其相互连接的电流回路、电压回路和直流回路也是综合在一起的，因而直观地表明了继电保护、信号装置、控制和操作等回路的接线和动作原理。在原理图中，各断路器和继电器的触点都是按照它们正常状态表示的。所谓正常状态是指断路器在断开位置和继电器线圈中没有电流的状态。

2. 展开接线图

展开接线图相对于原理接线图而言是一种接线的两种形式。展开接线图是按供电给二次回路的每一个独立电源划分单元而进行绘制的，例如交流电压回路、交流电流回路、直流操作回路和信号回路等。根据这个原则，同一仪表或继电器的线圈和触点应分别画在不同的电路中，而同一元件的线圈和触点使用相同的字母符号表示。

3. 安装接线图

由于二次设备布置分散，需要用控制电缆把它们互相连接起来，因此单凭原理接线图和展开接线图来安装是有困难的。为此在二次线安装时，还应再绘制安装接线图。安装接线图包括屏面布置图、屏背面接线图和端子排图三个部分。电缆联系图和电缆清册也可视为安装接线图的一部分。

1）屏面布置图。它是根据二次回路展开图，选定二次设备的型号后进行绘制的。屏面布置图是加工制作屏、台、盘和安装展、台、盘上设备的依据。屏、台、盘上各个设备的位置应根据运行操作方便并适当考虑便于维修和施工来决定。安装设备的尺寸和设备之间距离应按一定比例进行绘制。

2）屏背面接线图。它是以屏面布置图为基础，并以原理接线图为依据绘制而成的接线图。它标明了屏上各个设备端子之间的连接情况，以及设备与端子排之间的连接情况，它是指导屏、台、盘上配线工作的图样。

3）端子排图。是表示屏、台、盘内需要装设端子排的数目、型式、排列顺序、位置，

以及它与屏、台、盘内设备和屏、台、盘外设备连接情况的图纸，也是二次线施工、接线必备的图样。

第二节　断路器控制回路

一、LW2 控制开关

断路器的操作过程是由控制开关发出跳、合闸命令进行的，该命令经过控制电缆传送到断路器的操动机构上，操动机构上装有跳、合闸线圈，使断路器跳、合闸。当断路器在跳闸位置时，合闸线圈得电，断路器合闸；当断路器在合闸位置时，跳闸线圈得电，断路器跳闸。控制开关正面为一个把手，安装于屏前，和把手同在一个转轴上装有数个触头盒，触头盒装于屏后。LW2-Z-1a、4、6a、40、20、20/F8 触头见表 12-1。控制开关手柄有六个位置，即“跳闸后”、“预备合闸”、“合闸”、“合闸后”、“预备跳闸”、“跳闸”。对应这六个位置，可以分别从表 12-1 中查出哪些触头是接通的，哪些触头是断开的。在表中“ ×”号表示触头接通，“—”号表示触头断开。

表 12-1　LW2-Z-1a、4、6a、40、20、20/F8 触头

在“跳闸”后位置的手柄（正面）的样式和触头盒（背面）接线图	合 闸	1 2 3 4		5 6 8 7		9 10 12 11			13 14 16 15			17 18 19 20		21 22 23 24		
手柄和触头盒的型式	F8	1a		4		6a			40			20		20		
触点号 / 位　置		1-3	2-4	5-8	6-7	9-10	9-12	10-11	13-14	14-15	13-16	17-19	18-20	21-23	21-22	22-24
跳闸后		—	×	—	—	—	—	×	—	×	—	—	×	—	—	×
预备合闸		×	—	—	—	×	—	—	×	—	—	—	—	—	×	—
合闸		—	—	×	—	—	×	—	—	—	×	×	—	×	—	—
合闸后		×	—	—	—	×	—	—	—	—	×	×	—	×	—	—
预备跳闸		—	×	—	—	—	—	×	×	—	—	—	—	—	×	—
跳闸		—	—	—	×	—	—	×	—	×	—	—	×	—	—	×

除用表 12-1 表示控制开关通断外，一般在断路器的控制回路图 12-1 上用六根虚线表示控制开关的动作位置。左侧的三根虚线自右至左分别表示“预备跳闸”、“跳闸”、“跳闸后”三个位置；右侧的三根虚线自左至右分别表示“预备合闸”、“合闸”、“合闸后”三个位置。这六根虚线称为示位线，在示位线上画有黑点的，表示与控制开关相对应位置时，触头是接通的；在示位线上没有黑点的，表示与控制开关相对应的位置时，触头是断开的。

二、电磁操动机构断路器的控制回路

1. 控制回路的动作原理

电磁操动机构断路器控制回路如图 12-1 所示。控制开关在不同位置时接通的回路如图 12-2 所示。

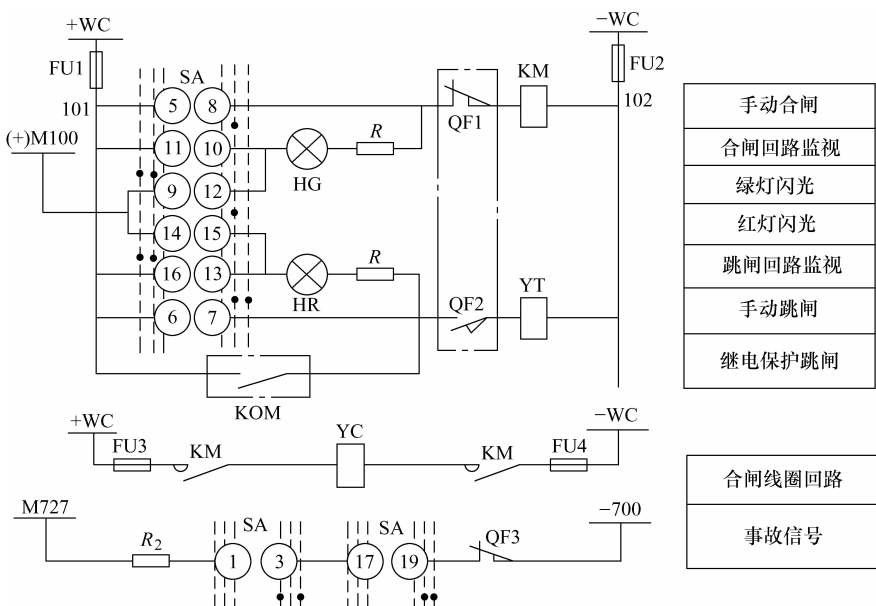


图 12-1　电磁操动机构断路器的控制回路图

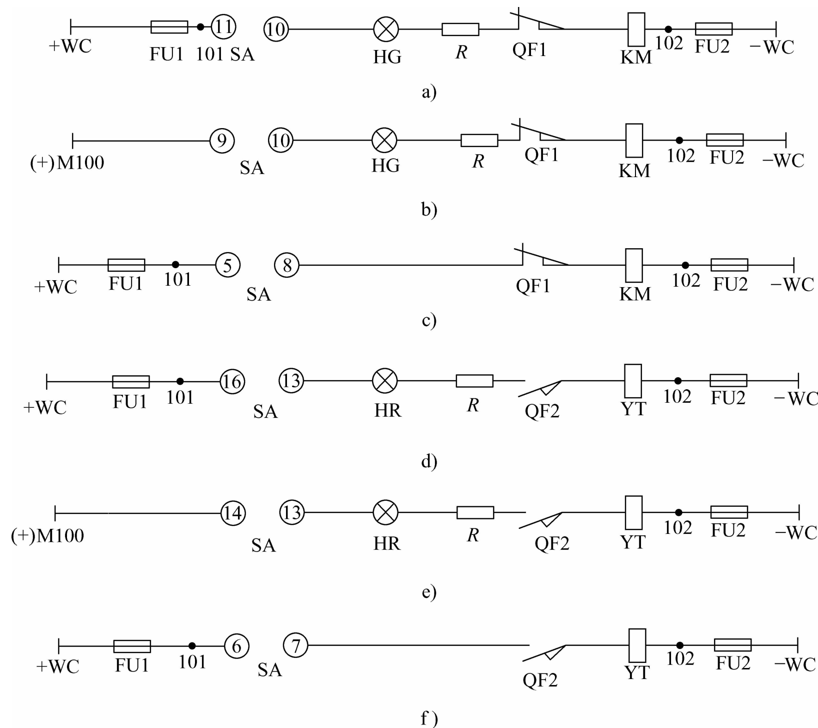


图 12-2　控制开关在不同位置时接通的回路

a）跳闸后位置　b）预备合闸位置　c）合闸位置　d）合闸后位置

e）预备合闸位置　f）跳闸位置

（1）“跳闸后”位置

当 SA 的手柄在“跳闸后”位置，且断路器也在跳闸后位置时，QF1 动断触头闭合，其通路如图 12-2a 所示。查表 12-1 可知，此时 SA 的触头 10-11 接通，即为 + WC→FU1→101→SA_{10-11}→HG→R→QF1→KM→102→FU2→ – WC。此时，绿色指示灯 HG 亮，指示出断路器在“跳闸后”位置。图中合闸用直流接触器 KM 也有电流通过，但因回路中串联绿色指示灯 HG 及电阻 R，则控制电流的大部分电压都降落在电阻 R 上，而 KM 上的电压很小，所以 KM 不会动作。绿色指示灯 HG 亮，除指示断路器在“跳闸后”位置外，还可监视接触器 KM 和熔断器 FU1、FU2 回路的完好性。

（2）“预备合闸”位置

SA 在“预备合闸”位置时，SA_{9-10}触头接通，QF1 未打开，图 12-2b 的回路接通，即为（+）M100→SA_{9-10}→HG→R→QF1→KM→102→FU2→ – WC。此时，接通了闪光电源，绿色指示灯闪亮，发出预备合闸信号，但 KM 仍不能启动，因回路中还有绿色指示灯 HG 和电阻 R。

（3）“合闸位置”

当 SA 的手柄再顺时针转 45°到“合闸位置”时，SA_{5-8}触头接通，绿色指示灯 HG 和电阻 R 被短路，KM 起动，其回路如图 12-2c 所示，即为 + WC→FU1→101→SA_{5-8}→QF1→KM→102→FU2→ – WC。

KM 动作后，两对带灭弧的动合触头闭合，启动合闸线圈 YC，使断路器合闸。断路器合闸后，辅助触头 QF1 断开，QF2 闭合。

（4）“合闸后”位置

松手后，SA 的手柄自动弹回至垂直位置，即“合闸后”位置时，SA_{16-13}触头接通，其回路如图 12-2d 所示，即为 + WC→FU1→101→SA_{16-13}→HR→R→QF2→YT→102→FU2→ – WC。此时，红色指示灯 HR 亮，指示出断路器已在合闸位置，同时监视着跳闸线圈 YT 和熔断器 FU1、FU2 回路的完好性。

（5）“预备跳闸”位置

SA 手柄在“预备跳闸”位置时，SA_{13-14}触头接通，其通路如图 12-2e 所示，即为（+）M100→SA_{13-14}→HR→R→QF2→YT→102→FU2→ – WC。此时，接通了闪光电源，红灯 HR 闪光，发出预备跳闸信号。

（6）“跳闸”位置

将手柄 SA 逆时针转 45°到“跳闸”位置，SA_{6-7}触头接通，红色指示灯 HR 及电阻 R 被短接，直流控制电压全部加到跳闸线圈 YT 上，其回路如图 12-2f 所示，即为 + WC→FU1→101→SA_{6-7}→QF2→YT→102→FU2→ – WC。此时，跳闸线圈 YT 励磁，使断路器跳闸，其辅助触头 QF2 断开，QF1 闭合。松开 SA 手柄，SA 回复到“跳闸后”位置，绿灯亮。

（7）保护跳闸

保护跳闸，参考图 12-1。当系统发生故障时，继电保护动作，其出口继电器动合触头 KOM 闭合，跳闸线圈 YT 得电，断路器跳闸。由于控制开关手柄在事故跳闸前处于“合闸后”位置，其触头 SA9-10、SA1-3、SA17-19 处于接通位置。断路器跳闸后，其动断辅助触头 QF1 闭合，接通绿色指示灯闪光回路，绿色指示灯闪光；其另一对动断触头 QF3 闭合，将事故音响小母线 M727 和 – 700 接通，起动事故音响装置，发出事故声响。

2. 具有电气防跳装置断路器的控制回路

具有电气防跳装置断路器的控制回路如图 12-3 所示。图中，KCF 为防跳闭锁继电器，俗称“防跳”继电器，它具有电流起动线圈和电压自保持线圈。电流线圈串联于跳闸回路中，电压线圈经过自身的动合触头 KCF-1 与合闸接触器 KM 线圈并联，此外还将动断触头 KCF2 串联在合闸回路中。

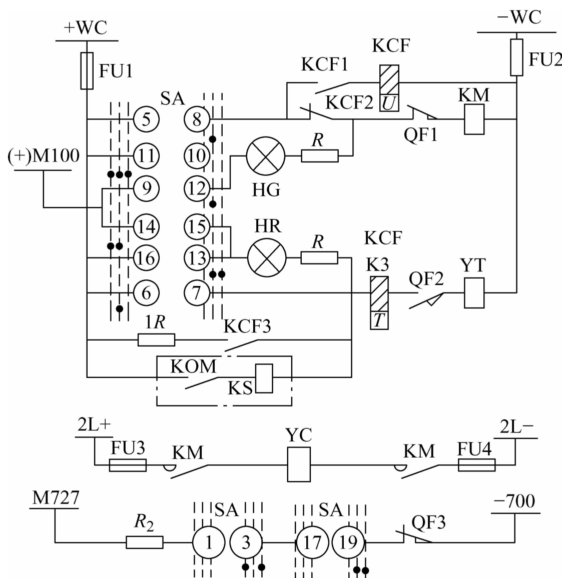


图 12-3　具有电气防跳装置断路器的控制回路图

断路器合在故障线路上时，保护动作，跳闸线圈得电，断路器跳闸。跳闸线圈中的跳闸脉冲电流经过 KCF 的电流线圈，则 KCF 动作，其动合触头 KCF1 闭合，由于控制开关手柄未松开，SA5-8 接通，则 KCF 的电压线圈得电，使 KCF 自保持，其动断触点 KCF2 打开，断开合闸接触器 KM 的回路，使断路器不能再次合闸。只有当控制开关手柄松开后，KCF 的电压线圈才失电，使 KCF 返回，控制回路恢复到原来的状态。

图 12-3 中的防跳继电器动合触头 KCF3 的作用是：当保护出口继电器 KOM 动作跳闸时，断路器的主触头可能比其辅助触头 QF2 断开快，而主触头一旦断开，出口继电器就要返回，此时其动合触头 KOM 就要因切断跳闸线圈 YT 的电流而被烧坏。而有了 KCF3 触头，当保护动作跳闸时，KCF 中流过跳闸电流，KCF 动作，KCF3 闭合，只有 QF2 断开 KCF 才返回，KCF3 才打开，从而保护了 KOM 触头。KCF3 的另一个作用是：只要有跳闸脉冲流过 KCF，KCF3 均闭合，使 KCF 自保持，保证了断路器可靠跳闸。

电阻 1*R* 的作用是保证信号继电器 KS 能可靠起动，其阻值很小，一般为 1Ω，当保护出口继电器触头 KOM 没有串接信号继电器时，此电阻可以取消。

三、弹簧操动机构断路器的控制回路

弹簧操动机构断路器的控制回路如图 12-4 所示。与电磁操动机构控制回路的不同点，主要是在断路器的合闸回路中串入了弹簧闭锁触头 ST1。只有在弹簧储能拉紧后，ST1 才闭合，允许断路器合闸。

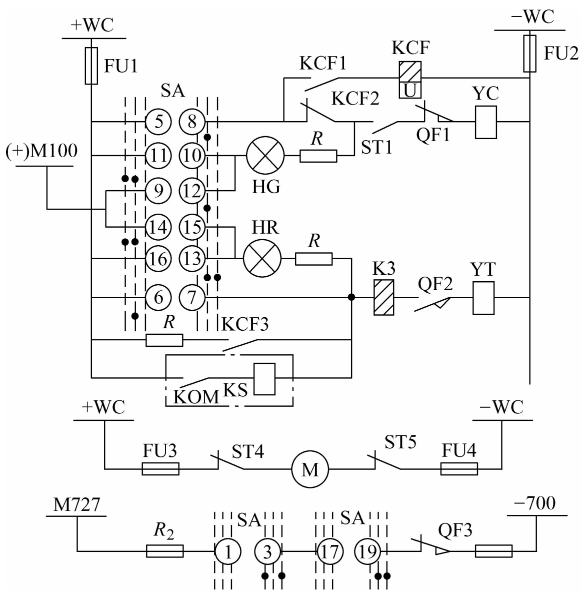


图 12-4　弹簧操动机构断路器的控制回路图

弹簧未拉紧时，操动机构内弹簧辅助动断触头 ST4 和 ST5 在闭合位置，只要投入熔断器 FU3 和 FU4，则储能电动机即起动储能，使合闸弹簧拉紧，拉紧后 ST4 和 ST5 打开，电动机停电。当断路器合闸时，合闸弹簧能量释放，ST4 和

ST5 闭合，电动机又重新将弹簧拉紧，准备断路器下次合闸。

第三节　信 号 回 路

一、断路器位置及状态指示信号

1. 断路器位置信号接线原理

断路器的位置信号只是指示断路器的工作状态，即断路器是在合闸位置还是在跳闸位置。有时也作为直流电源消失或控制回路断线的辅助判据。断路器的位置指示信号接线原理如图 12-5 所示。

2. 断路器位置指示信号动作原理

断路器在跳闸位置时，控制开关 SA 触头⑪⑩导通，动断触头 QF1 导通。控制回路的正电源，经控制开关⑩⑪触头、绿灯 HG、断路器辅助触头 QF 及断路器合闸线圈 YC、负电源构成回路，HG 亮。而当断路器在合闸位置时，控制开关触头⑨⑫及⑯⑬闭合。从正电源、控制开关辅助触点⑯⑬触头、KCF 电流线圈、断路器动合辅助触点 QF2、跳闸线圈 YT 至负电源构成回路，HR 亮。

图 12-5　断路器位置指示信号图

SA—控制开关　KCF—跳闸闭锁继电器　TC—断路器跳闸线圈　HG—绿色指示灯　HR—红色指示灯　YT—断路器合闸线圈　QF—断路器位置辅助触头

当控制开关在合闸位置，而断路器在跳闸位置时，闪光母线带电。由闪光母线经控制开关触头⑨⑫、HG、QF1 动断触头、断路器合闸线圈、负电源构成回路，则绿色指示灯 HG 闪光；另外，当断路器在合闸位置，而操作开关在预跳位置时，则红色指示灯 HR 闪光；而当断路器在跳闸位置，操作开关在预合位置时，绿色指示灯闪光。

二、事故信号

1. 事故信号的功能

事故信号是紧急报警信号，只有当配电所内的电气主设备发生故障或系统异常危及主设备安全造成断路器自动跳闸时发出。

另外，继电保护误动作或控制回路异常引起的断路器跳闸，以及自动装置动作跳闸，也发出事故报警信号。

若将断路器操作开关在“合闸位置”而断路器却已跳闸的情况称之为“不对应状态”，当该状态发生时要发出事故报警信号。

事故信号的特点是电笛鸣，相应断路器位置指示灯闪光。事故信号装置设置在控制室，又称中央信号装置，它应具有以下功能：

1）发生事故时应无延时发出信号；

2）事故时应立即起动远动装置，发出遥信信号（有遥信装置时）；

3）能手动或自动复归音响信号，能手动试验声光信号，但试验时不发遥信；

4）应有能表示继电保护和自动装置动作情况的光字牌；

5）能重复动作，当某一断路器事故跳闸之后，在运行人员没来得及确认事故及复位之

前，其他断路器又出现事故跳闸，事故信号装置能再次发出音响及灯光信号。

2. 事故音响信号的动作原理

由 CJ-2 型冲击继电器构成的典型事故音响信号回路的原理接线如图 12-6 所示。

断路器在合闸位置时，控制开关的触头①③及⑲⑰闭合，但由于断路器在合闸位置，其辅助动断触头 QF 在断开位置；又由于试验按钮 1SB 在断开位置，故冲击继电器 1KI 不会动作，也不会发出音响信号。

当断路器因故跳闸后，其辅助动断触头 QF 闭合，由信号正电源 701 经冲击继电器 1KI 线圈、728 小母线电阻 1R、控制开关的①③和⑲⑰触头，QF 触头至信号负电源构成回路，1KI 冲击后动作，1KI 动合触合①③闭合，起动中间继电器 1KM。

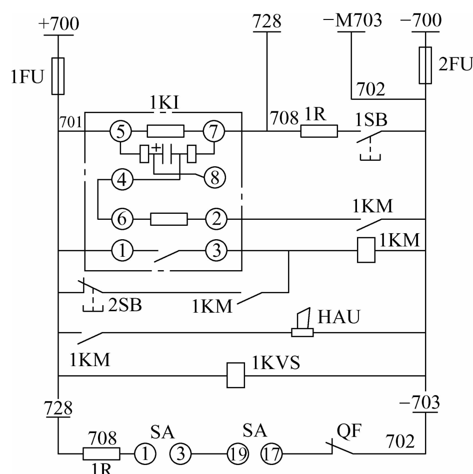


图 12-6　中央信号装置的事故音响信号回路

1KI—冲击继电器　HAU—电笛　1KM—中间继电器　SB—试验按钮　1KVS—电源监视继电器　2SB—复归按钮　QF—断路器辅助触头　SA—控制开关　1FU、2FU—熔断器　+700、−700—直流电源的正、负母线

1KM 起动后，其三对动合触点闭合。一对动合触头闭合起动电笛 HAU，使 HAU 发出音响；第二对动合触头经复归按钮 2SB 接通 1KM 的动作自保持回路；第三对动合触头闭合后，复归冲击继电器 1KI。

事故音响信号的复归，靠按下复归按钮 2SB 完成（断开 1KM 的自保持回路）。

另外，可通过试验按钮 1SB 起动冲击继电器 1KI，来定期校验事故音响回路的良好性。

1KVS 为一直流继电器，用来监视直流电源。当直流电源消失时，1KVS 动作返回，其动断触头闭合，发出报警信号。

三、预告信号

1. 预告信号的分类

预告信号装置是当设备发生故障或某种不正常情况时自动发出声响，并同时发出光学信号的警报装置。配电所常见的预告信号有

1）配电变压器过负荷；

2）配电变压器轻瓦斯保护动作；

3）配电变压器油温过高；

4）电压互感器二次回路断线；

5）直流电源消失，直流回路接地；

6）控制回路断线、熔断器熔丝熔断等（当为音响监视接线时）；

7）事故音响回路熔断器熔丝熔断；

8）配电变压器冷却回路故障等。

2. 预告信号装置的要求

1）预告信号出现时，应有与事故信号有区别的音响信号（一般电铃响），灯光信号应指示出预告信号的内容（对应的光字牌亮）而不闪光。

2）音响及光字信号能手动及自动复归，在预告信号未消除之前，相应的光字牌仍应亮。

3）能重复动作，即在一个预告信号未消失之前，再出现新的预告信号时，仍能发出声响和灯光信号。

4）运行人员可对预告信号装置进行手动试验。

3. 预告信号动作原理

由冲击继电器构成的典型预告信号回路的原理接线如图 12-7 所示。

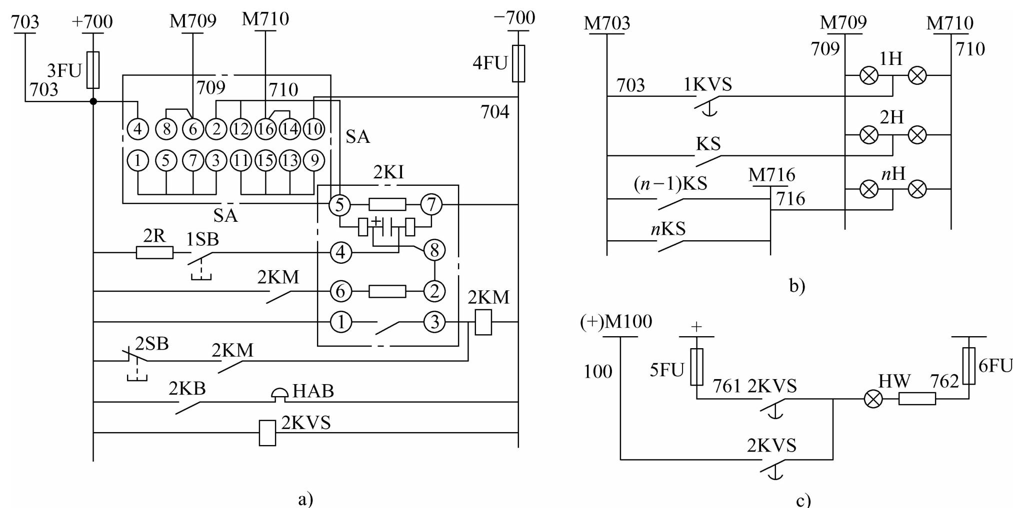


图 12-7　中央信号装置的预告信号回路

a）预告信号原理图　b）光字牌起动回路　c）为直流电源监视回路

SA—切换开关　2KI—冲击继电器　2KM—中间继电器　2KVS—直流电源监视继电器　1SB—试验按钮

2SB—复归按钮　HAB—警铃　HW—信号灯　1H ~ nH—光字牌　3 ~ 6FU—熔断器　KS—信号继电器

在无异常工况下，试验按钮 1SB 断开；切换开关①④断开，信号继电器不动作。小母线 M709 及 M710 为负电位，冲击继电器 2KI 不动作，警铃不响。

正常运行时切换开关 SA 的触头③②、⑥、⑦、⑪⑫、⑮⑯导通。当异常工况发生时，信号继电器 KS 触头闭合，除使相应的光字牌 H 亮之外，还使小母线 M709 和 M710 呈现正电位，冲击继电器 2KI 动作。2KI 动作后，其动合触头①③闭合，起动中间继电器 2KM。中间继电器 2KM 的三对动合触头闭合，分别去起动警铃 HAB、使 2KM 动作自保持及复归冲击继电器 2KI。

按试验探钮 2SB 也可起动 2KI，对预告信号系统的良好性进行检查。

由图 12-7a 和图 12-7c 可以看出，当回路的直流电源消失时，继电器在 2KVS 返回，其动合触头打开，而动断触头闭合，使灯 HW 由显平光转换成闪光（因为 M100 为闪光母线）。

四、闪光信号装置

1. 闪光信号装置接线原理

SGJ 型闪光信号装置接线原理如图 12-8 所示。

2. 闪光装置动作原理

（1）闪光装置的检验

正常情况下，试验按钮的动合触头打开，而动断触头闭合，信号灯 HW 两端的电压为

控制回路的电源电压，故信号灯 HW 亮（为平光）。又由于闪光小母线同控制回路的负电流小母线 - WC 之间的回路不通，继电器不动作。

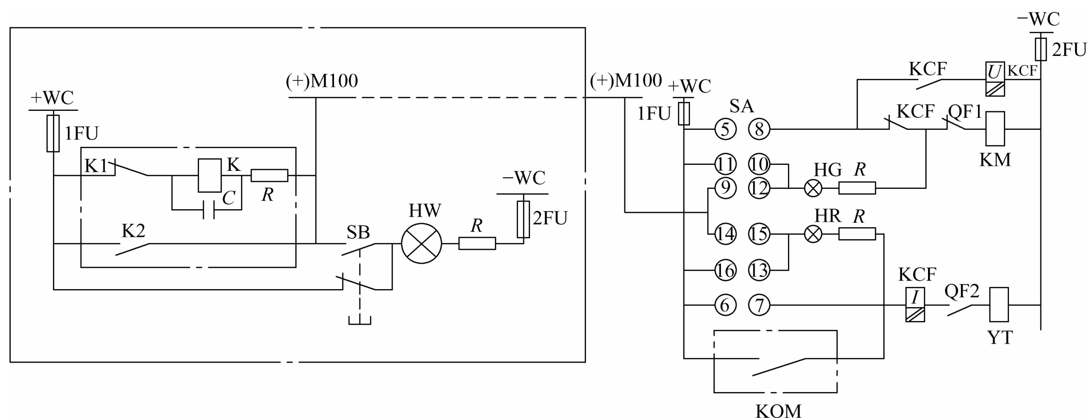


图 12-8　SGJ 型闪光信号装置接线原理

当按下试验按钮 SB 后，电源回路为 + WC→1FU→K1→*C*→*R*→（ + ） M100→SB→HW→*R*→2FU→ - WC。电源向电容器充电，当电压上升到继电器 K 的动作电压时，该继电器启动，使动断触头 K1 断开，切断继电器供电回路。同时动合触头 K2 闭合，使闪光小母线（ + ） M100 的电位与控制母线 + WC 相同。电容器 *C* 向继电器 K 的线圈开始放电，继电器保持在动作状态，继电器 K 线圈上的电压随着电容器放电而逐然下降，当电压降至继电器 K 的返回电压时，继电器复归，其动合触头 K2 断开，动断触头 K1 闭合，直流正电源 + W 经电阻 *R* 及信号灯 HW 向电容器 *C* 充电，继电器 K 线圈上的电压随着电容器 *C* 充电而升高到继电器的动作电压时，继电器再次动作，重复上述过程，于是信号灯 HW 发出连续的闪光。

（2） 控制开关 SA 在预备合闸位置

断路器控制开关 SA 在预备合闸位置时，其触头 $SA_{9\text{-}10}$ 接通，电源回路 - WC→2FU→KM→QF1→*R*→HG→$SA_{9\text{-}10}$→（ + ） M100，启动闪光继电器 K，发出断路器预备合闸的提示闪光信号。断路器合闸后闪光停止，证明合闸过程已完成。

（3） 控制开关 SA 在预备跳闸位置

控制开关 SA 在预备跳闸位置时，其触点 $SA_{13\text{-}14}$ 接通，电源回路为 - WC→2FU→YT→QF2→KCF→*R*→HR→$SA_{13\text{-}14}$→（ + ） M100，起动闪光继电器 K，发出断路器预备跳闸的提示信号。断路器跳闸后，闪光停止，证明跳闸过程已完成。

（4） 控制开关 SA 与断路器位置不对应

在运行中的断路器，由于继电保护装置动中，出口中间继电器 KOM 动合触头接通跳闸后，此时断路器处于“跳闸后” 位置，其电源回路为 - WC→2FU→KM→QF1→*R*→HG→$SA_{9\text{-}10}$→（ + ） M100，启动闪光继电器 K，发出断路器已跳闸的闪光提示信号。此时，将控制开关 SA 把手柄投到“跳闸后” 位置，$SA_{10\text{-}11}$触头接通，$SA_{9\text{-}10}$断开，闪光停止，绿色信号灯 HG 发出平光。

五、微机监控保护装置的信号功能

1. 简介

在配电所的微机监控保护装置中，采集全所主设备、母线及线路的电流、电压、温度、

压力及断路器、隔离开关位置信号、保护动作等信息，可以随时发出及传输各种事故、异常报警信号及设备状态指示信号。

2. 实时数据采集

配电所信息的采集与处理设备，一种是集中式 RTU 装置，另一种是分散式测控单位元装置。实时数据采集分遥测量与遥信量。遥测量主要是配电所的设备运行状态监视实时数据，如交、直流母线电压、线路及配电变压器各侧电流、变压器的温度、功率、频率、气体压力值等；通信量主要是各种设备的位置、状态信号，如断路器、隔离开关、变压器分接头、保护动作、装置异常、断路器弹簧储能、气体压力等。

3. 监视与报警

微机监控系统通过设备多种限值，多种报警级别，多种报警方式，为运行值班人员提供各种监视手段。

4. 运行设备的控制

运行设备的控制主要是指如对断路器、电动隔离开关的分合控制，配电变压器分接头调节，信号远方复归等。

5. 运行管理

微机监控保护的计算机功能，可以辅助运行人员进行大量的管理工作。如保存各类参数的历史记录信息，自动编制各类运行报表，系统运行参数的曲线等。

第四节　直 流 回 路

一、蓄电池组直流操作电源

蓄电池组直流操作电源系统接线原理如图 12-9 所示。正常运行时，合上隔离开关 QS1、

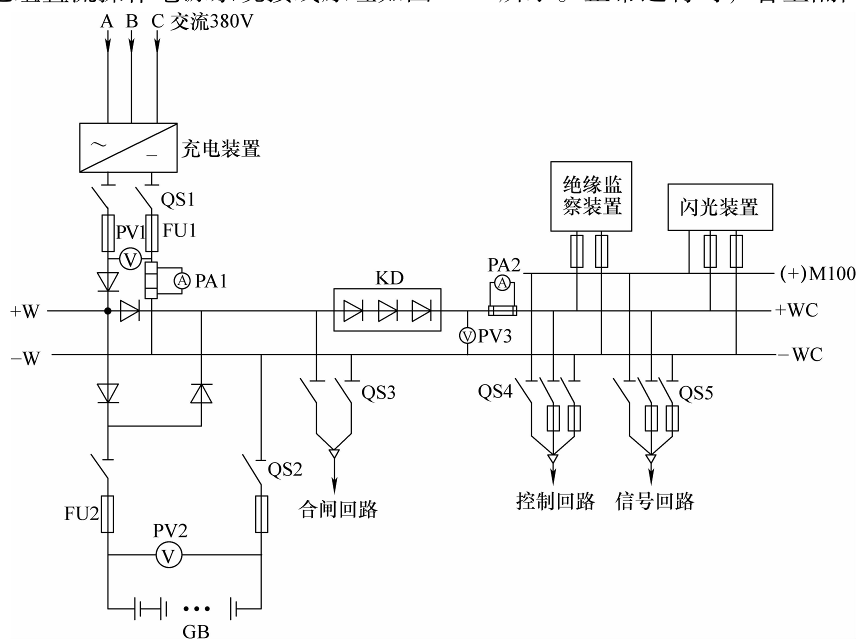


图 12-9　蓄电池组直流操作电源接线原理

QS2，充电装置和蓄电池并联运行，充电装置向蓄电池浮充，蓄电池中流过很小的浮充电流。充电装置的输出电压、电流可调节，并可用电压表 PV1 和电流表 PA1 测量。

控制母线的电压，由电压控制器 KD 自动调整（也可手动调整）。当断路器合闸时需很大的合闸电流时，由蓄电池供给。当交流电源停电时，充电装置将停止运行，此时合闸直流负荷由蓄电池供给。

二、硅整流电容储能直流系统

硅整流电容储能直流系统如图 12-10 所示，一般都装有两组硅整流装置，其交流电源均取自交流低压母线。一组硅整流器 U1 供断路器合闸用，也兼向控制回路供电，其合闸功率较大；另一组硅整流器 U2 容量较小，仅用于向控制操作母线供电。合闸母线和控制母线电压分别由各自硅整流器的二次侧抽头 TS1、TS2 调节。两组整流器之间用电阻 R_1 和整流二极管 V3 隔开。V3 起逆止阀的作用，它只允许合闸母线向控制母线供电，反之不通，这样可防止在合闸或合闸母线故障时，引起控制母线电压的严重降低。

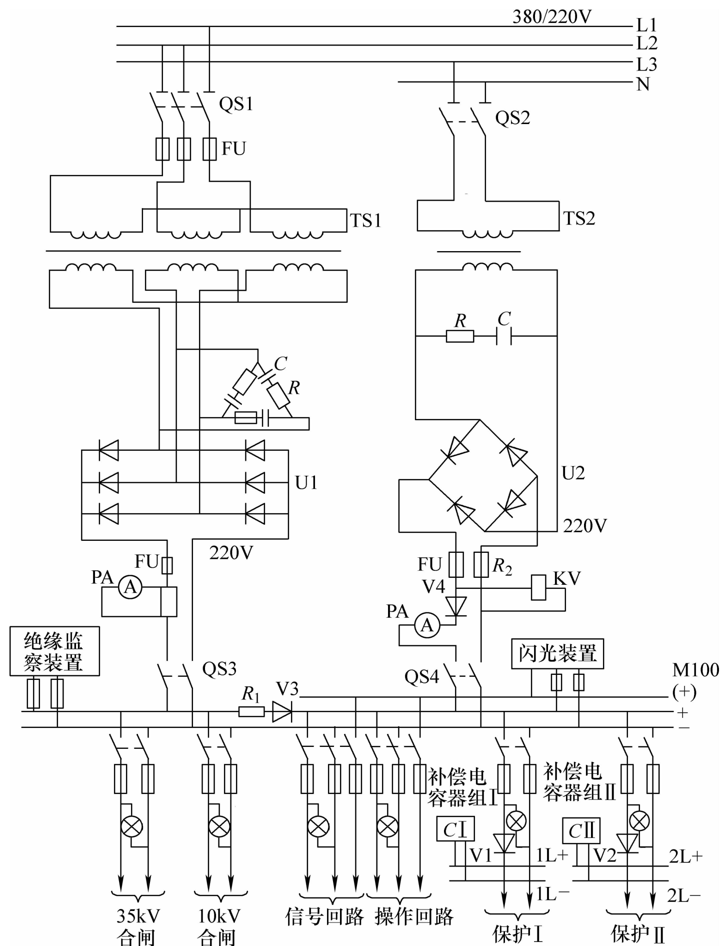


图 12-10　硅整流电容储能的直流系统图

两组储能电容器 CⅠ和 CⅡ都应具有足够的容量，它们所储的电能，只在事故情况下直流母线电压降低时供给继电保护和跳闸回路用的。其中 CⅠ供电给 6～10kV 出线保护和跳闸

回路；CⅡ供给主变压器保护或35kV 出线保护用。整流二极管 V1、V2 起逆止阀作用，可防止电容器经控制母线向其他回路放电。

储能电容器一般采用电解电容器，其额定电压不低于450V。电容器的容量一般要留有50% 的裕度。由于电解电容器使用寿命较短，因此要求运行中每班检查一次。

第五节　直流系统的绝缘检测

一、概述

直流系统中发生两点接地时，会使断路器发生误跳事故或拒跳事故。因此，直流系统的绝缘检测，对直流系统的正常运行监视极为重要。

二、直流绝缘检测原理

直流绝缘检测装置是根据电桥平衡原理构成的。其检测原理的示意图如图 12-11 所示。

正常工况下，直流系统正、负两极对地的绝缘电阻 $R_3 = R_4$，由于装置内电阻 $R_1 = R_2$，因此，在由 R_1、R_2、R_3、R_4 构成的四臂电桥中 $R_1R_4 = R_2R_3$，满足电桥平衡条件。A 点的电位与地电位相等，直流电压表 PV 的指示等于零。信号继电器 KS 两端无电压，它不动作。

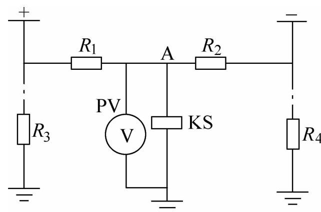


图 12-11　直流绝缘检测装置检测原理示意图

R_1、R_2—监测装置内的辅加电阻　R_3、R_4—分别为直流电源两极对地的绝缘电阻　KS—电压信号继电器　PV—直流电压表　+、−—直流电源的正、负小母线

当某一极对地的绝缘电阻下降或直接接地时，R_3 不再等于 R_4，故 $R_1R_4 \neq R_2R_3$ 电桥平衡被破坏，A 点对地产生电压，信号继电器 KS 动作，发出报警信号。

图 12-11 中直流电压表的刻度为电压和电阻的双刻度，电压的刻度应与直流系统的额定电压相对应。

三、由继电器构成的绝缘检测装置

1. 直流绝缘检测装置原理

由继电器构成的典型绝缘检测装置的原理接线如图 12-12 所示。该装置将直流系统的绝缘检测与电压监视集为一体。

绝缘测量及绝缘监视部分由电阻 1R、2R、电位器 3R、开关 1SA、信号继电器 KS 及 PV1 电压表计构成。

正常工况下，开关 1SA 的触头⑦⑤和⑨⑪闭合，开关 2SA 的触头⑦⑤闭合。与电位器 3R 连接的 PV1 电压表通过 2SA 的⑦⑤触头接地。此时，由于直流系统对地绝缘良好，其正、负两极的对地电阻相等，并与电阻 1R、2R 构成的四臂电桥处于平衡状态。表计的指示电压值近似等于零，信号继电器 KS 不动作。

当直流系统某一极对地绝缘严重降低或直接接地时，例如负极接地，则四臂电桥平衡破坏，PV1 电压表的两端出现较大的电压，即继电器 KS 线圈两端出现电压，继电器 KS 动作，发出“直流接地”报警信号。

直流母线电压的监视，正常工况时开关 ZSA 的触头②①和⑪⑫闭合，电压表 PV2 的电压指示值即为直流电源的母线电压。

当直流系统对地绝缘降低时，可通过对 2SA 的切换及观察 PV2 表的指示，分别测量出直流母线正极及负极的对地电压，以判断是正极还是负极的对地绝缘降低。

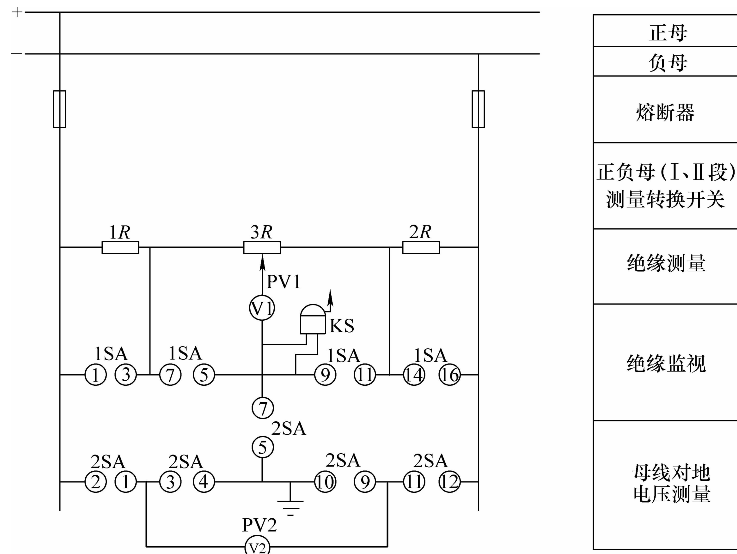


图 12-12　直流绝缘检测装置原理接线图

1SA—绝缘测量及对地电阻测量转换开关　2SA—电压监视及接地位置选测切换开关

KS—接地信号继电器，常选用电流形继电器　PV1—电压和电阻双刻度测量表计

PV2—直流电压表　$1R\sim3R$—电阻，阻值一般取 1kΩ

2. 微机型绝缘检测装置

采用上述接地检测装置，可以检测全直流系统对地绝缘状况，当发生接地时可判断出接地的极性。但当直流系统的正极与负极绝缘同时降低，且对地电阻相差不大时，装置无法正确检测。另外，当直流系统中出现接地时，也无法判断接地点在哪条馈线上。

采用微机型绝缘检测装置，除能检测出直流系统是否有接地之外，还能检测出具体发生接地的直流馈线。该装置的原理接线如图 12-13 所示。

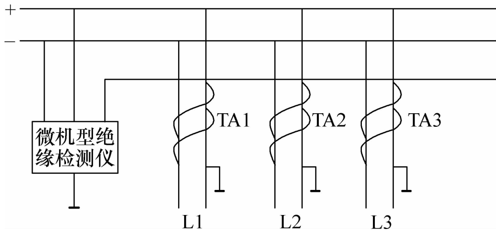


图 12-13　微机型绝缘检测装置原理接线图

+、－—分别表示直流电源的正、负极母线

L1、L2、L3—直流馈线　TA1、TA2、TA3—直流绝缘监测回路辅助电流互感器

图 12-13 所示的微机型绝缘检测仪的检测原理也是电桥平衡原理。不同的是装置内部有一个低频电压信号发生器，该信号发生器产生的低频电压加在直流母线与地之间。当直流系统中某一馈线回路出现接地故障时，该馈线上将流过低频电流信号。该低频电流信号经辅助电流互感器传递给检测仪，经计算判断出接地馈线及接地电阻的大小。

也有采用霍尔传感器来代替图中辅助电流互感器的，霍尔传感器能检测各馈线上正负两根馈线的直流电流之差。因此，不必叠加低频信号。

第六节　二次回路的安装接线

一、安装接线的基本要求

1）按图施工，正确接线。

2）导线与电气元件间采用螺栓连接、插接、焊接或压接等，均应牢固可靠。

3）盘、柜内的导线不应有接头，导线芯线应无损伤。

4）电缆芯线和所配导线的端部均应标明其回路编号，编号应正确，字迹清晰且不易脱色。

5）配线应整齐、清晰、美观，导线绝缘应良好，无损伤。

6）每个接线端子的每侧接线宜为 1 根，不得超过 2 根。对于插接式端子，不同截面的两根导线不得接在同一端子上；对于螺栓连接端子，当接两根导线时，中间应加平垫片。

7）二次回路接地应设专用螺栓。

8）盘、柜内的配线电流回路应采用电压不低于 500V 的铜芯绝缘导线，其截面积不应小于 $2.5mm^2$；其他回路截面积不应小于 $1.5mm^2$；对电子元件回路、弱电回路采用锡焊连接时，在满足载流量和电压降及有足够机械强度的情况下，可采用截面积不小于 $0.5mm^2$ 的绝缘导线。

9）用于连接门上的电器、控制台板等可动部位的导线尚应符合下列要求：

①应采用多股软导线，敷设长度应有适当裕度。

②线束应有外套塑料管等加强绝缘层。

③与电器连接时，端部应绞紧，并应加终端附件或搪锡，不得松散、断股。

④在可动部位两端应用卡子固定。

10）引入盘、柜内的电缆及其芯线应符合下列要求：

①引入盘、柜的电缆应排列整齐，编号清晰，避免交叉，并应固定牢固，不得使所接的端子排受到机械应力。

②铠装电缆在进入盘、柜后，应将钢带切断，切断处的端部应扎紧，并应将钢带接地。

③使用于静态保护、控制等逻辑回路的控制电缆，应采用屏蔽电缆。其屏蔽层应按设计要求的接地方式予以接地。

④橡胶绝缘的芯线应外套绝缘管保护。

⑤盘、柜内的电缆芯线，应按垂直或水平有规律地配置，不得任意歪斜交叉连接。备用芯长度应留有适当余量。

⑥强、弱电回路不应使用同一根电缆，并应分别成束分开排列。

11）直流回路中具有水银触头的电器，电源正极应接到水银侧触头的一端。

12）在油污环境，应采用耐油的绝缘导线。在日光直射环境，橡胶或塑料绝缘导线应采取防护措施。

二、屏背面的展开图

屏的结构在安装接线图上是以展开平面图表示的。即从屏的后面将它的立体结构同上和左右展开为屏背面、屏左侧、屏右侧、屏顶四部分，图 12-14 所示为屏背面的展开图。

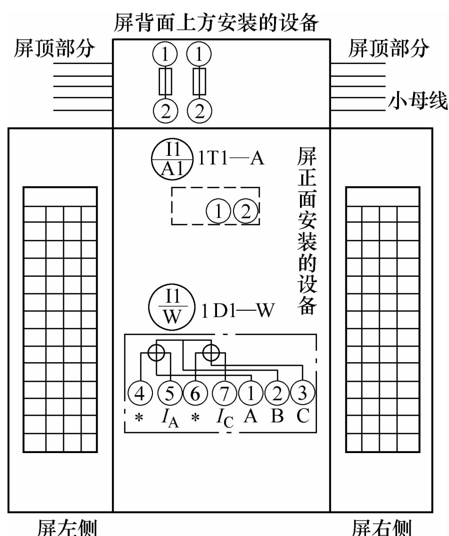


图 12-14　屏背面的展开图

1）屏背部分：装置各种控制和保护设备的，

如仪表、控制开关、信号设备及继电器等。

2）屏侧部分：装设端子排的，分右侧端子排和左侧端子排。在设备拥挤的情况下，屏两侧亦可安装部分设备，但以不影响端子排的安设为原则。

3）屏顶部分：装设各种小母线、熔断器、附加电阻、小刀开关、警铃、蜂鸣器等于屏的侧面或背面的上部，以便于操作调整。小母线按表 12-2 的规定涂色，以判别小母线的性质和用途。表 12-2 以外的小母线不涂色。

表 12-2　小母线涂色规定表

符号	名　　称	涂　　色	符号	名　　称	涂　　色
+WC	正极控制小母线	红	WV_a	电压小母线 A 相	黄
-WC	负极控制小母线	蓝	WV_b	电压小母线 B 相	绿
+WS	正极信号小母线	红	WV_c	电压小母线 C 相	红
-WS	负极信号小母线	蓝	WV_o	电压小母线 0 线	黑
(+)M100	闪光小母线	红、绿间色			

三、二次设备在安装接线图上的表示方法

1）安装接线图上设备的相对位置应与实际的安装位置相符合，因设备本身及设备间的距离尺寸已在屏面布置图上标明，故不再按比例画出。另外，由于二次设备都安装在屏的正面，而其接线在屏后进行，所以安装接线图为屏的背视图。

2）安装接线图上设备的外形应尽量与实际形状相符。若设备的内部接线简单（如电流表、电压表），可不必画出；若复杂（如各种继电器），则要画出。在安装接线图中，背视看得见的设备轮廓线用实线表示，看不见的设备轮廓线用虚线表示。

对于内部接线复杂的晶体管继电器，可只画出与引出端子有关的线圈及触头，并标出正负电流的极性。

四、安装接线图中的标号

绘制安装接线图的依据是展开图和屏面布置图。因此，安装接线图上的设备符号和编号，必须和展开图及屏面布置图上的一致。图 12-15 所示为安装接线图上的设备符号。

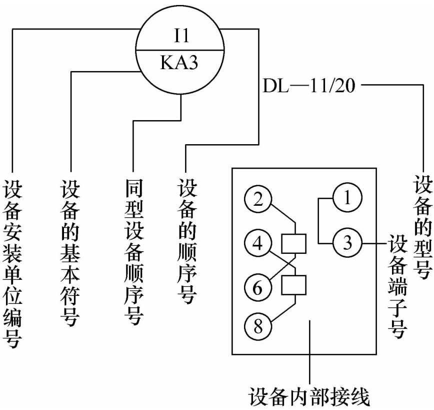


图 12-15　安装接线图上的设备符号

1. 设备安装单位编号

为了区分同一屏上属于不同一次回路的二次设备，设备上必须标以安装单位的编号，安装单位的编号以罗马数字Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ等来表示。

2. 同型号设备的顺序

在同一安装单位的设备中若有几只相同类型的设备，这种同型号的设备应以阿拉伯数字的次序来区别，如在同一安装单位中有 3 只电流继电器，则可分别以 KA1、KA2、KA3 来表示。

3. 设备的顺序号

在同一安装单位中所有设备的顺序号是以阿拉伯数字来表示的，即根据设备在屏上的位置，从左到右、从上到下的顺序给每一个设备编号。

在安装接线图上，设备标号以圆圈表示在设备图形的左上角，设备的型号则写在设备图形的上方与设备标号平行，如图 12-15 所示。

五、接线端子

1. 接线端子的用途

接线端子是二次回路接线不可缺少的部件，除了屏内与屏外二次回路的连接、以及同一屏上各安装单位之间的连接必须通过接线端子外，为了走线方便，屏面设备与屏顶设备的连接也要经过端子排。各种型式的端子还可以帮助我们在端子排上进行并头或测量、校验及检修二次回路中的仪表和继电器。许多端子组合在一起构成端子排。

2. 接线端子的基本结构与分类

（1）接线端子的结构

接线端子主要是由绝缘座和导电片组成。绝缘座一般是由胶木粉压制而成的，其作用是隔绝导电片与接线端子的固定槽板，另外也可避免端子接线时误碰到邻近端子上的导电部分；在绝缘座的下部有一锁扣弹簧，是供接线端子固定在槽板内用的。

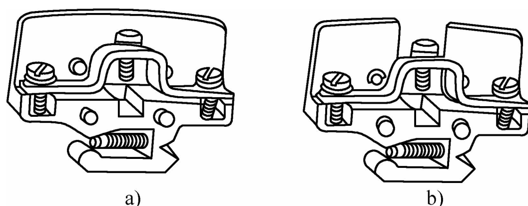


图 12-16　一般端子和连接端子

a）一般端子　b）连接端子

（2）接线端子的类型

1）一般端子（B1-1 型或 D1-10 型）：如图 12-16a 所示。它适用于屏内、外导线或电缆的连接，即供一个回路的两端导线连接之用。

2）连接端子（B1-4 型或 D1-10L1 和 D1-10L2 型）：B1-4 与 B1-1 的外形基本一样，所不同的是 B1-4 型端子在绝缘座的上部中间有一缺口，如图 12-16b 所示，此缺口用于连接两个端子的导电片。通过导电片，连接端子与一般端子相配合，可使各种回路并头或分头。

3）试验端子（B1-2 型或 D1-10S 型）：用于需要接入试验仪器的电流回路中。图 12-17 所示为试验端子的外形及接线方法，利用它来校验电流回路中的仪表和继电器的准确度。图 12-17b 所示为试验端子的接线方法。试验时，可按图先接好试验用电流表，并旋出中间有把手的试验铜螺钉 2，将其接入电流回路，这样即可测量需校验电流表的准确度。测量完毕后，旋进中间有把手的铜螺钉 2，再拆除试验表计，从而保证了电流互感器的二次侧在工作过程中不会开路而又不必松动原来的接线。

4）连接型试验端子（B1-3 型或 D1-10SL 型）：它同时具备试验端子和连接端子的作用，因此被广泛地应用在彼此连接的电流试验回路中。其外形与 B1-2 型相似，所不同的是绝缘座上部的中间有一缺口，该缺口和 B1-4 型一样，是供连接导电片用的。

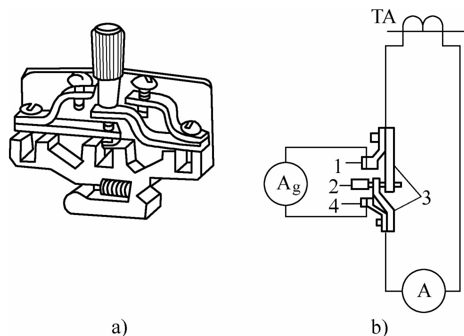


图 12-17　试验端子的外形及接线方法

a）外形　b）接线方法

1、4—接线螺钉　2—有把手的试验螺钉　3—导电片

5）终端端子（B1-5 型或 D1-B 型）：用于固定或分离不同安装单位的端子排。

6）标准端子（B1-6 型）：是直接连接屏内、外导线用的。其导电片如图 12-18a 所示。

7）特殊端子（B1-7 型）：用于开断需要很

方便的回路中，其导电片如图 12-18c 所示。

图 12-18 所示为不同类型端子的导电片。D1 系列的端子为全国统一设计的产品，而 B1 系列的端子是目前配电所中所常用的。上述系列中的端子，绝缘座只有两种，一种是有缺口的，另一种是无缺口的；导电片有 4 种类型如图 12-18 所示。在 D1 系列中，“10”表示额定电流为 10A；还有额定电流为 20A 的。

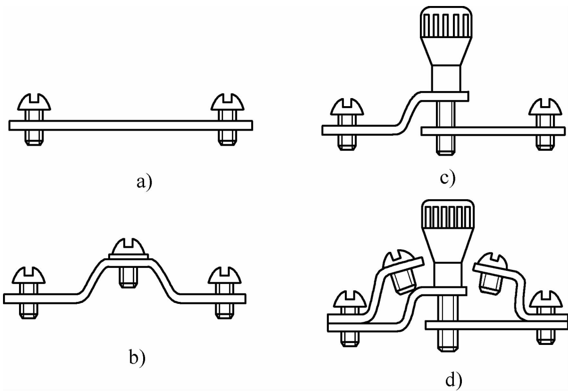


图 12-18　不同类型端子的导电片

a）B1-6 型　b）B1-1 和 B1-4 型

c）B1-7 型　d）B1-2 型和 B1-3 型

3. 端子排的表示方法

在安装接线图上，为了简化制图，端子排一般采用四格的表示方法，除其中一格写入端子序号及表示型式以外，其余的需要表明设备符号及回路编号。图 12-19 所示为屏右侧端子排的表示方法（如为左侧的端子排，可将图 12-19 翻转 180°表示）。

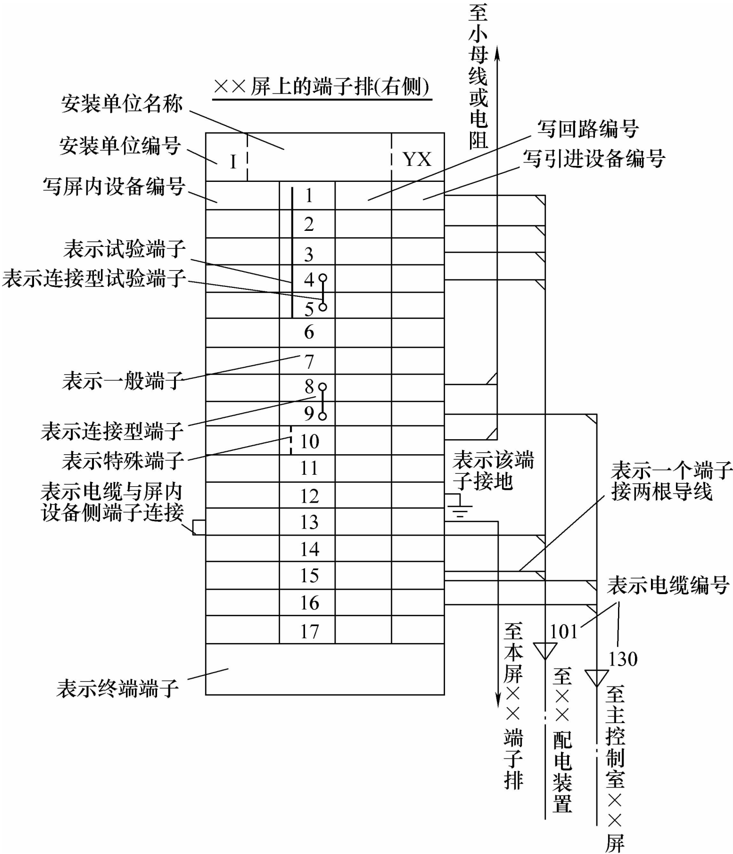


图 12-19　端子排的表示方法

从左至右每格的含义如下：

第一格：表示屏内设备的文字符号及设备的接线螺钉号。

第二格：表示接线端子的序号和型式。

第三格：表示安装单位的回路编号。

第四格：表示屏外或屏顶引入设备的符号及螺钉号。

为了简化表示方法，也有将第三格和第四格的内容合写在一格中的，即为三格的表示方法。

4. 端子排的排列原则

为满足运行、检修、调试的方便，一般端子排的排列是遵照以下原则来布置和排列的：

1）当同一块屏上只有一个安装单位时，则端子排的放置应与屏内设备的位置相对应，如设备的大部分靠近屏的右侧，则端子排应放在屏的右侧，这样既省料、又省力。

2）当同一块屏上有几个安装单位时，则每一安装单位应有独立的端子排，它们的排列应与屏面布置相配合。最后留 2 ~5 个端子作为备用端子，在端子排的两端应装终端端子。

3）端子形式的选用，需根据具体情况决定。一般来说，交流电流回路应经试验端子；预告和信号回路及其他需要断开的回路，则应经特殊端子或试验端子。

4）每一安装单位的端子排上，必须预留一定数量的备用端子；否则，增加接线将造成很大的麻烦。同时，必须在端子的两端装设终端端子。

5）当一个安装单位的端子过多（按《电力工程设计手册》规定，屏每侧装设端子的数目最多不得超过 135 个）或一块屏上只有一个安装单位时，可将端子布置在屏的两侧。但此时应按交流电流、交流电压、信号、控制等回路所属的各个组别成组地分开。

6）正、负电源之间经常带正电的正电源合闸和跳闸回路之间的端子排应不相毗邻，一般需用一个空端子隔开。特别是户外的端子箱中更应该如此，以免端子排因受潮短路，而使断路器误动作。

7）一个端子的每一个接线螺钉，一般只接一根导线；特殊情况下，最多可接两根导线，并要求两根导线的线径相同。接于端子的导线截面积，一般不应超过 $6mm^2$。

8）端子排上的回路安装顺序应与屏面设备相符，以避免接线迂回曲折。端子排垂直布置时，应按自上而下的顺序，依照下列回路分组排列：

①交流电流回路：按每组电流互感器分组，对同一保护方式的电流回路一般排在一起，按数字大小从上至下，并按相序 A、B、C、N 排列，如 A411、B411、C411、N411；A421、B421、C421、N421。

②交流电压回路：按每组电压互感器分组，对同一保护方式的电压回路一般排在一起，按数字大小从上至下并按相序 A、B、C、N 排列，如 A611、B611、C611；A613、B613、C613 等。

③信号回路：按事故、位置、预告及指挥信号分组。每组按数字大小排列，先是信号正电源 701；其次是 901、903…和 951、953；再次是 730、732…；再其次是 94、194、294…；最后是负电源 702。

④控制回路：按每组熔断器分组。其中每组先按正极性回路（编号为奇数）由小到大排列；然后，再按负极性回路（编号为偶数）由大到小排列。例如，101、103、133、142，140、102；201、203、233、242、240、202；…。

⑤其他回路：其中又按励磁保护回路，自动调整励磁装置的电流、电压回路，远方调整及联锁回路等分组。每一回路又按极性、编号、相序等顺序地排列。

六、“相对编号法”在安装接线图上的应用

在安装接线图上，二次接线通常都采用“相对编号法”。所谓“相对编号法”就是甲、乙两个设备需要互相连接时，我们在接至甲设备的导线端编写上乙设备的标号，而在接至乙设备的导线端编写上甲设备的标号，因为编号是相互对应的，所以叫“相对编号法”。如果在某个端子旁边没有标号，就说明该端子不连接，是空着的。

例如，屏内设备间的实际线条连接，如图12-20a所示。这种表示方法可用在连接线少时，若线多时则会画不清，既费时间又容易出差错。

图12-20b是采用相对编号法画出导线连接的，由编写的标号可以清楚地找到需连接的接线端子。

在屏上实际安装配线时，相对编号的数字写于特制的胶木套箍或塑料套箍上，然后套在导线的两端，以便在运行和检修时帮助查找设备。

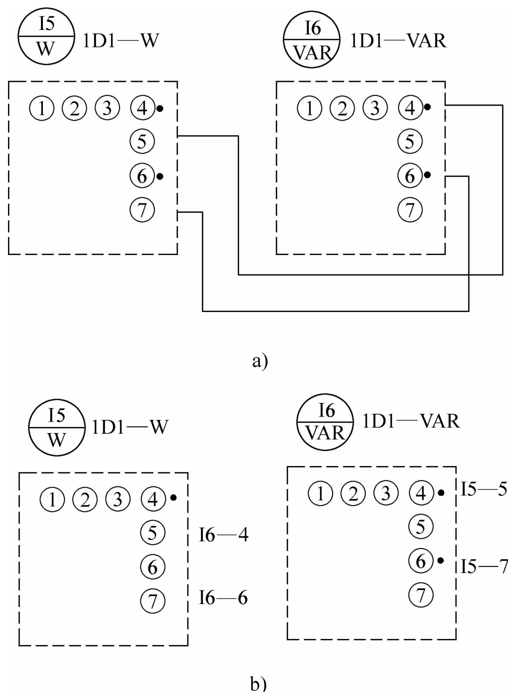


图12-20　屏内设备间的接线方法

a）实际线条连接　b）相对标号法连接

现以图12-21a所示的10kV输电线路定时过电流保护展开图为例，绘制其安装接线图，如图12-21b、c所示。一个屏的安装接线图，包括屏侧端子接线、屏体背面的设备接线和屏顶设备接线。

在图12-21中，从电流互感器TA1处引来的3根电缆芯112#（回路编号为A411、B411、N411）通过1~3号3个试验端子，分别与屏上的KA1、KA2的接线螺钉号②、⑧连接。正、负控制电源，从屏顶小母线±WC经熔断器FU1和FU2引到5、10号端子（其回路编号为101、102），该两端子分别与屏上KA1的接线螺钉①、KM的接线螺钉②连接。信号回路，从屏顶小母线+WS和WH引到13、14号端子（其回路编号为703、716），该两端子分别与屏上KS的接线螺钉②、④连接。断路器辅助触头QF1的正电源和跳闸线圈YT的负电源，由12号和8号端子经电缆111#引至10kV配电装置。屏上的各设备之间也应用相对编号法进行连接，如KA1和KA2的③接线螺钉要并联，用相对编号法在KA1的接线螺钉③上编号I2—3，表示接到KA2的接线螺钉③上；而在KA2的接线螺钉③上标I1—3，表示接到KA1的接线螺钉③上。

相对编号法在实际应用中应掌握如下原则：

1）为了走线方便，屏内设备与屏顶设备及小母线连接时，需要经过端子排，而屏内设备和屏外设备连接时，则必须通过端子排、并用电缆与屏外设备连接。

2）对于放置在一起的电阻和熔断器、光字牌以及同一设备的两个接线螺钉，采用线条连接比相对编号法来得清晰、方便，因此一般可采用线条直接连接。

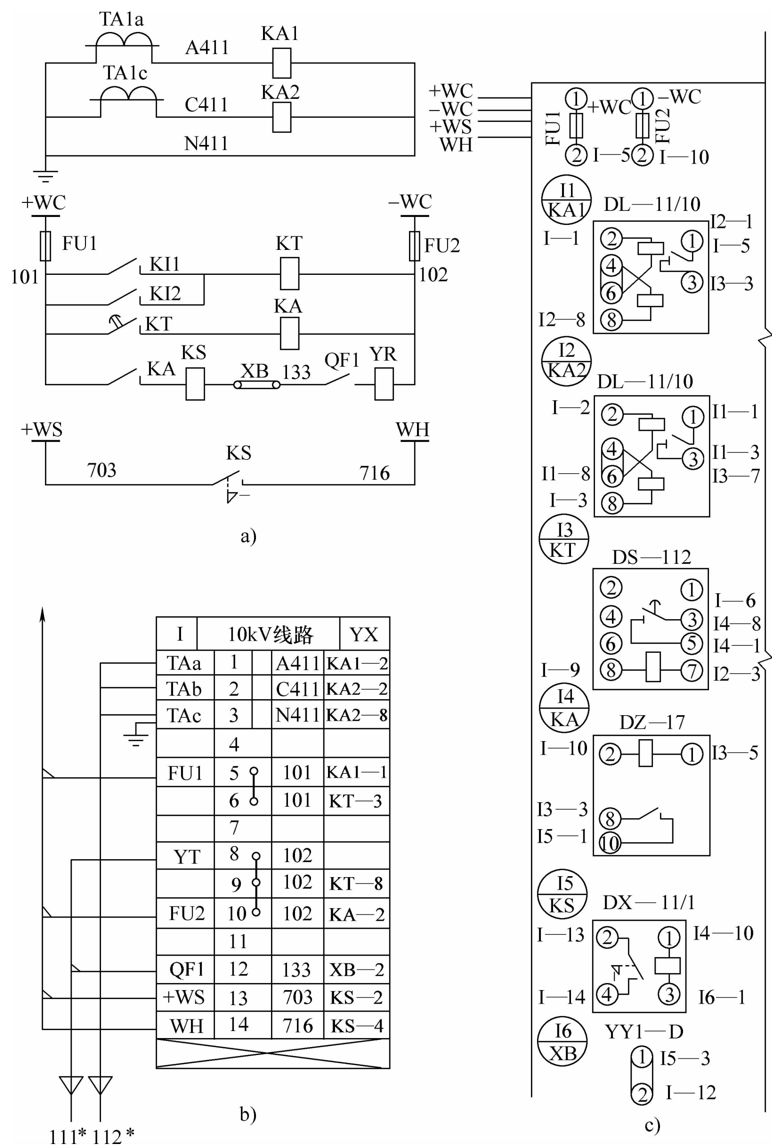


图 12-21　10kV 输电线路定时过电流保护的安装接线

a）展开图　b）端子排　c）安装接线

3）对于不经过端子排的二次设备（如装于屏顶的熔断器、电铃、蜂鸣器、附加电阻等）与屏顶操作信号小母线直接连接时，也应采用相对编号法表示。如图 12-22 所示，可在该设备的端子上直接写上小母线的符号，而从小母线上画出引下线，并在其旁注明所连接设备的符号。

4）屏内设备间通过端子排的连接法：屏内设备间的接线一般都是直接连接，但有时由于某种原因（例如，屏板后接线的电能表穿线孔）只允许穿过一根导线时，可经过端子排进行并头。图 12-23 所示为电流表和功率表的接线螺钉在端子排 6 和 7 上并头，因为不向外接线，所以端子的右面两格空着不填。

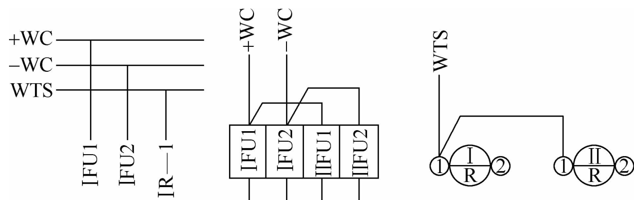


图 12-22　不经端子排直接与小母线连接的标注法

		5	
A2		6	
W4		7	

图 12-23　屏内设备间通过端子排的连接法

第七节　二次回路的故障处理

一、二次设备的常见故障

1）直流系统异常、故障，如直流接地、直流电压低或高等。

2）二次接线异常、故障，如接线错误，回路断线等。

3）电流互感器、电压互感器等异常、故障，如电流互感器二次回路开路、电压互感器二次短路等。

4）继电保护及安全自动装置异常、故障，如保护装置故障等。

二、二次回路的一般故障处理原则

1）必须按符合实际的图样进行工作。

2）停用保护和自动装置，必须经调度同意。

3）在电压互感器二次回路上查找故障时，必须考虑对保护及自动装置的影响，防止因失去交流电压而误动或拒动。

4）进行传动试验时，应事先查明是否与其他设备有关。应先断开联跳其他设备的连接片，然后才允许进行试验。

5）取直流电源熔断器时，应将正、负熔断器都取下，以利于分析查找故障。同时，其操作顺序应为先取正极，后取负极；装熔断器时，顺序与此相反。这样的目的是为了防止因寄生回路而误动跳闸，也为了在直流接地故障时，不至于因只取一个熔断器造成接地点发生“转移”而不易查找。

6）装、取直流熔断器时，应注意考虑对保护的影响，防止保护误动作。

7）带电用表计测量时，必须使用高内阻电压表，防止误动跳闸。

8）防止电流互感器二次开路，电压互感器二次短路、接地。

9）使用的工具应合格并绝缘良好，尽量使必须外露的金属部分减少，防止发生接地短路或人身触电。

10）拆动二次接线端子，应先核对图样及端子标号，做好记录和明显的标记。及时恢复所拆接线，并应核对无误，检查接触是否良好。

11）继电保护和自动装置在运行中，发生下列情况之一者，应退出有关装置，汇报调度和有关上级，通知专业人员处理：①继电器有明显故障；②触点振动很大或位置不正确，潜伏有误动作的可能；③装置出现异常可能误动，或已经发生误动；④电压回路断线，失去交流电压；⑤其他专用规程规定的情况。

12）凡因查找故障，需要作模拟试验、保护和断路器传动试验时，试验之前，必须汇

报调度，根据调度命令，先断开该设备的失灵保护、远方跳闸的启动回路。防止万一出现所传动的断路器不能跳闸，失灵保护、远方跳闸误动作，造成母线停电的恶性事故。

三、二次回路查找故障的一般步骤

1）根据故障现象分析故障的一般原因。

2）保持原状，进行外部检查和观察。

3）检查出故障可能性大的、容易出问题的、常出问题的薄弱点。

4）用“缩小范围”的方法逐步查找。

5）使用正确的方法，查明故障点并排除故障。

四、二次交流电压回路断线

1. 二次交流电压回路断线原因

1）电压互感器二次熔断器熔断或接触不良。

2）电压互感器一次（高压）熔断器熔断。

3）电压互感器一次隔离开关辅助触头未接通、接触不良（多在操作后发生），回路端子线头有接触不良之处。

2. 二次交流电压回路断线处理

1）先将可能误动的保护和自动装置退出，根据出现的象征判断故障。

2）若电压互感器一次熔断器熔断，分别测量相电压和线电压来判别故障，并更换熔丝。

3）若二次侧熔断器或端子线头接触不良，可拨动底座夹片使熔断器接触良好，或上紧端子螺钉，装上熔断器后投入所退出的保护及自动装置。

4）二次侧熔断器熔断（或二次侧小开关跳闸），更换同规格熔断器，重新投入试送一次侧，成功后投入所退出的保护及自动装置。若再次熔断（或再次跳闸），应检查二次回路中有无短路、接地故障点，不得加大熔断器容量或二次侧开关的动作电流值，不易查找时，汇报调度和有关上级，由专业人员协助查找。

5）若高压熔断器熔断，应退出可能误动的保护（启动失灵）及自动装置，拔掉二次侧熔断器（或断开二次侧小开关），拉开一次侧隔离开关，更换同规格熔断器。检查电压互感器外部有无异常，若无异常可试送一次侧。试送正常，投入所退出的保护及自动装置。若再次熔断，说明互感器内部故障，可使一次母线并列后，合上电压互感器二次联络，投入所退出的保护及自动装置，故障互感器停电检修。

与电压互感器二次联络时，必须先断开故障电压互感器的二次侧，防止向故障点反充电。

必须注意，电压互感器高压熔断器熔断，若同时系统中有接地故障，不能拉开电压互感器一次侧隔离开关。接地故障消失以后，再停用故障电压互感器。

五、直流系统接地处理

直流系统发生一点接地是常见的异常运行状态，虽不直接产生恶果，但潜在危险性很大。因此规定，当直流系统发生接地后只允许连续运行 2h，以便值班人员迅速寻找接地点，尽快消除，防止发展成两点接地故障。

1. 直流系统接地寻找的一般原则

首先，分清直流一点接地的极性（正极还是负极引起），粗略分析接地故障的原因（天

气引起还是二次回路上有人工作引起）；其次，按现场实况，确定查找方法。对有两段以上的直流母线宜采用“分网法”，拉开两段母线分段隔离开关，缩小查找范围。对直流母线上的不太重要的馈线分路，可用“瞬时停电法”查找，对有重要负荷的分路可用“转移负载法”查找一点接地。

查找的次序：先对有缺陷的分路，后一般分路；先户外，后户内；先对不重要回路，后对重要回路；先对新投运设备，后对投运已久的设备。

1）对于不重要的直流电源（如事故照明、信号装置、断路器和隔离开关的合闸电源及试验电源）馈线，采取“瞬时停电法”寻找，即拉开某一馈线的隔离开关，再迅速合上（切断时间不超过 3s），并注意接地现象是否瞬时消失，若未消失过，再依次继续寻找。

2）对重要的直流电源（如继电保护、操作电源、自动装置及信号电源）馈线，应事先取得调度同意后再进行，由两人进行。

2. 直流系统寻找接地点的具体试拉、合顺序

1）首先了解是否人员在二次回路设备上工作（如设备检修试验）等引起的。

2）在调度同意下，依次试拉、合直流分路的次序如下：

①事故照明，临时工作电源及继电保护试验电源（均属不太重要的负载）的试拉、合。

②热备用或冷备用中的设备的试拉、合。

③10kV 断路器的合闸电源试拉、合。

④故障录波器电源刀开关的试拉、合。

⑤对控制回路寻找接地故障，采用熔丝投、切时应先拔“+”电源，后拔“-”电源；投入时次序则相反。

⑥试停硅整流装置，并试拉其直流刀开关。

⑦当已确定接地范围后，如无法停用，应报告上级派人尽快消除。

查找直流系统一点接地是十分细致繁杂的工作，当查找发生困难时，应及时汇报上级协助寻找。

3. 晶闸管整流装置运行异常及故障的处理

1）若晶闸管整流装置不能投入，因故发生合不上，或合上后即跳闸，电压表无指示，一般应检查电源及直流输出部分。

2）KGCA 系列晶闸管整流装置的异常运行原因及处理见表 12-3。若硅整流装置电压过低（低于额定电压的 10%）且调压后不能升高，可能某一整流元器件损坏。

表 12-3　KGCA 系列晶闸管整流装置异常原因及处理

异常现象	原　因	处　理
过电压信号发亮，此时硅整流装置主回路已自行退出	直流输出电压超过额定电压的 10%	（1）手掀电流互感器停止按钮，使晶闸管整流停用 （2）按规定的投入步骤，试投整流装置，若故障仍存在，通知检修人员处理
过电流信号灯发亮，此时硅整流装置主回路已自行退出	直流输出电流超过额定电流的 20%	
熔丝熔断信号灯发亮，此时硅整流装置主回路已自行退出	（1）交流熔丝熔断一相或两相 （2）电源缺相运行	检查熔丝熔断或电源缺相的原因，待故障消除后，重新投入硅整流装置

直流系统中如发生一点接地后，若在同一极的另一点再发生接地时，即构成两点接地短路，此时，虽然一次系统并没有故障，但由于直流系统某两点接地短接了有关元器件，可能将造成信号装置误动，或继电保护和断路器的“误动作”或“拒动”，如图 12-24 所示。

①两点接地可造成断路器误动。当直流接地发生在 A、B 两点时，将电流继电器常开触点 KA1、KA2 短接，中间继电器起动，其常开触点 KM 闭合，由于断路器在合闸位置，所以直流正电源 + WC→KM→KSXB→QF2→YT→ - WC，回路接通使断路器跳闸，此时，一次系统未发生故障，故称“误动作”。当在 A、D 两点及 D、F 两点接地时，都能使断路器跳闸，形成“误动作”。

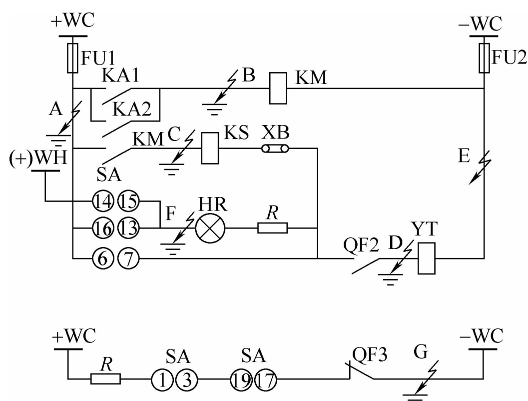


图 12-24　直流系统两点接地情况的分析

FU1、FU2—熔断器　KA1、KA2—电流继电器常开触点
KM—中间继电器　KS—信号继电器　XB—连接片
HR—红灯　SA—控制开关　*R*—电阻
QF2、QF3—断路器辅助触头　YT—跳闸线圈
+ WC、 - WC—直流控制母线

②两点接地可能造成断路器“拒动”，如接地点同时发生在 B、E 两点，或 D、E 两点和 C、E 两点，将跳闸线圈回路短路，此时若一次侧系统发生故障，保护动作，但由于跳闸线圈未励磁、铁心未动作，造成断路器“拒动”，而越级跳闸，以致扩大事故。

③当接地点发生在 A、E 两点时，会引起熔断器熔断，当接地点发生在 B、E 和 C、E 两点，保护动作时，不但断路器拒跳，而且熔断器熔断，同时有烧坏继电器的可能。

④两点接地可造成“误发信号”，断路器正常运行中，控制开关触头 SA①③，SA⑰⑲是接通的，而断路器的辅助触头 QF3 是断开的，中央事故信号回路不通，不发信号。但当发生 A、G 两点接地，QF3 被短接，事故信号小母线至信号小母线接通，启动中央事故信号回路“误发信号”。

第十三章　微机保护装置

第一节　微机保护在配电网中的应用

一、微机保护监控装置的优点

微机保护监控装置具有数据采集处理、显示、顺序记录、打印和模拟量越限报警等功能。它可以随时采集配电所的各回路电流、电压、功率、电量、设备温度等被测量，以及断路器、隔离开关、继电保护和自动装置等工作状态的信息，并输入存储器中，在事故或需要时，能按事故发生的顺序在屏幕显示器［阴极射线管（CRT）］上显示或打印报表，及时向值班人员提供系统和设备运行的准确信息。与常规的测量和信号系统相比，微机保护具有显著的优点。

二、微机保护监控系统的原理

微机保护监控系统的原理框图如图 13-1 所示。

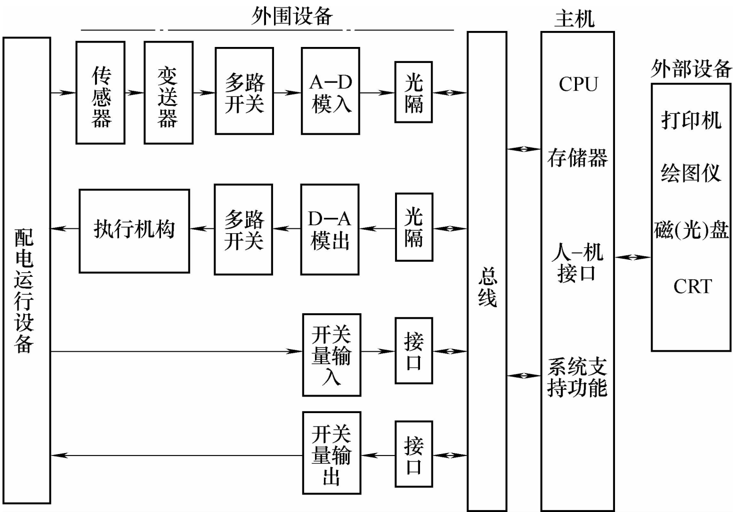


图 13-1　微机保护监控系统的原理框图

A-D—模-数转换器　D-A—数-模转换器　CPU—中央处理器　CRT—阴极射线管（屏幕显示器）

Sfere3000 配电装置综合监控系统如图 13-2 所示。

三、微机监控系统的功能

监控系统的功能取决于对监控系统提出的技术要求。配电所的正常监视和控制是以微机监控系统为主、人为辅的方式提出的，微机监控系统应具备的最基本的功能要求如下：

1. 信息采集与处理

信息采集与处理是监控系统的最基本功能。信息采集又为监控系统的其他功能提供信

息。因此，信息采集又是其他功能的基础。信息采集分为模拟量（包括温度量）、脉冲量、开关量和数据量的采集。前三种的信息采集一般由两部分完成。第一部分是将原始信息经各种变送器变成 4 ~20mA 或 -10 ~ +10V 的直流信号，接入监控系统的 A-D 转换器。第二部分是包括 A-D 转换器在内的微机内部信息采集和处理。数据量的采集是通过监控系统的信息接口与其他由微机构成的装置（如微机保护装置）连接，进行数据采集。

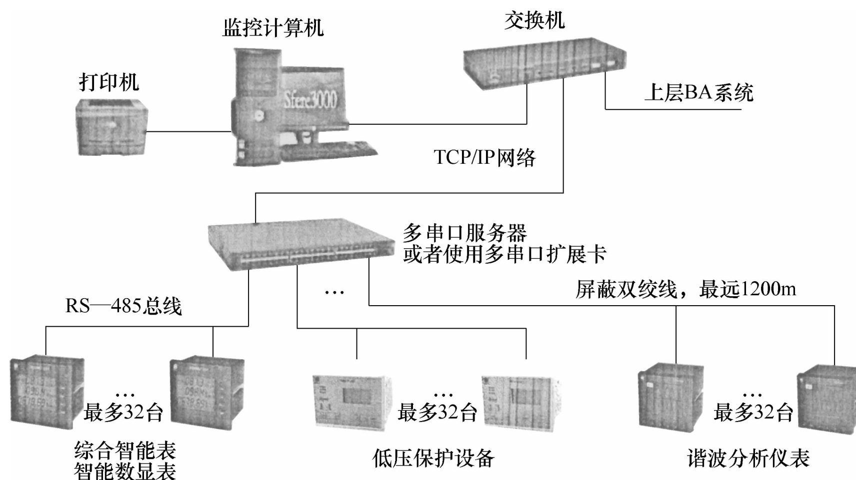


图 13-2　Sfere3000 配电装置综合监控系统

TCP/IP—传输控制协议/网际协议　BA—建筑自动化

2. 运行监视

微机监控系统对配电所的运行监视功能，远远超过了常规监控系统中的测量表计和中央信号系统所能达到的功能。

运行监视主要是对各种开关量的变位情况的监视和各种模拟量的数值监视。

通过对开关量的变位监视，可监视配电所各断路器、隔离开关、接地开关、变压器分接头的位置和动作情况，继电保护和自动装置的动作情况以及它们的动作顺序。

模拟量的监视分为正常的测量和超过限定值的报警、事故前后各模拟量变化情况的追忆等。

运行监视的输出有三种：CRT 画面显示、声音报警和自动打印。CRT 屏幕实质上是一个动态的信号返回屏，正常情况下运行人员可通过键盘操作，在 CRT 屏幕上调出变电所的各个系统的电气接线图，及时了解变电所各个系统的电气接线、设备投运情况以及电流、电压、功率潮流等参数，定时或召唤打印出配电所的各种数据。事故时，在 CRT 屏幕上能自动显示出变电所主接线、故障跳闸的断路器发出闪光，同时发出声音信号；打印机自动打出故障时断路器、继电保护、自动装置等设备的动作情况，事故前后各种电气量的变化情况等。这就实现了在正常和事故情况下，对配电所的电气设备和有关的电力系统参数的全面监视，有利于配电所的安全运行和事故处理。

3. 控制及安全操作闭锁

通过键盘能实现对断路器、隔离开关和接地开关等配电所的开关设备实现一对一或选择性控制。在控制过程中，通过 CRT 屏幕显示出被控对象的变位情况，并且通过软件能实现

断路器与隔离开关、接地开关之间的安全操作闭锁。

4. 显示和制表打印

监控系统中的 CRT 屏幕显示，除了完成常规监控系统中控制屏（或返回信号屏）上的系统模拟接线、指示仪表和各种光信号的功用之外，还能提供各种细部的图形显示，文字、数字和表格显示，给运行人员提供关于配电所的正常运行和事故状态的各种情况。显示的具体内容和方式，根据运行的实际要求确定。

制表打印功能主要是代替值班人员编制各种日常报表，报表的种类格式必须符合运行的实际需要。报表的打印可采用召唤式或定时打印。

5. 事件顺序记录

在配电所中监控系统的事件记录就是对配电所内的继电保护、自动装置、断路器等在事故时动作的先后顺序作自动记录。记录的分辨率一般为 1 ~5ms。自动记录的报告可在 CRT 上显示和打印。顺序记录的报告对分析事故、评价继电保护、自动装置和断路器的动作情况是非常有用的。

6. 事故追忆

事故追忆是指对配电所内的一些主要模拟量，如 10kV 及以上线路、主变压器各侧的电流、有功功率、主要母线电压等，在事故前后一段时间内作连续的测量记录。通过这一记录可了解系统或某一回路在事故前后所处的工作状态，对于分析和处理事故起辅助作用。

追忆的时间越长，需要的数据库容量越大。可根据系统的实际情况和需要来确定追忆的时间长短。一般事故前的追忆时间为 5s ~1min，事故后 5s ~1min。事故追忆一般以召唤方式在 CRT 屏幕上显示或打印。

7. 信息的远传

监控系统的信息远传功能的作用是代替远动系统中设在配电所的远动终端装置（RTU）。无人值班配电所监控系统采集的信息量大于并包括了远动系统中的 RTU 所采集的信息量。在监控系统所采集的信息中，将远动系统所需要的信息选出，传至调度中心。这种方式在监控系统中仅仅增加一个远传环节，增加投资很少，但在远动系统中却节省了价格昂贵的 RTU。这不仅节省了设备投资，同时也简化了接线，减少了维护工作量。

监控系统的远传功能必须满足以下要求：

1）传至调度中心的信息内容，应满足系统远动化的要求。

2）远动信息的码制、时钟、规约必须与系统远动装置协调。

3）远传口的数量应满足系统调度管理的要求。

四、利用微处理器改进配电所的测量和信号系统

在配电所内装设一套单主机的微机监测系统，其中包括数据采集装置、中央处理器（CPU）、显示器、打印机等。这一系统具有数据采集处理、打印、显示、顺序记录、模拟量越限报警等功能。它能将配电所各回路的电流、电压、功率、电量、温度等被测量和断路器、隔离开关、继电保护和自动装置等动作状态，各种不正常运行状态的信息，随时存入中央处理器的存储器中。在事故或需要时，能按事件发生的顺序，以便于接收信息形式（文字或数字）在 CRT 屏幕上显示；也可通过打印机，以报表的形式打印出来，提供给运行人员关于系统和设备情况的准确信息。与常规的测量、信号系统相比，微机监测系统具有以下优点：

1）把原来分散的、利用模拟式仪表指针机械位置，改变成反映被测量变化的方式，改变成集中的、用数字直接显示被测量的大小。当被测量超过给定值时，还能自动报警，这就有效地提高了人视觉接收信息的准确性。

2）把原来分散的，用信号灯、光字牌或继电器机械掉牌来显示的信息，改变成集中的、显示在 CRT 屏幕上或打印在纸上的文字信息，使信息内容的表达直观、明确。

3）以人所不能达到的分辨率（分辨率可做到小于 5ms），把事故时动作的各种开关量，按其动作的时间、顺序排列打印出来，给人提供在事故时各种设备动作情况的详细信息，便于人们分析、处理事故和考核设备。

4）改变了值班人员的监视方式。发生事故时，由原来对大面积控制屏的监视，变成仅仅对 CRT 屏幕的监视，因而值班人员的监视面大为缩小。

5）实现对各种被测量的自动记录、自动制表，大大减轻了值班人员的日常工作量。

装有这类监控系统的配电所，考虑到微机监控系统有故障和停运的可能，常规的测量和信号系统还不能取消，但可以作较大的简化。正常情况下，配电所靠微机监控系统运行；当微机监控系统故障时，常规的表计还能保留必要的监视信号和对主要电气量的测量。

在新设计的配电所中，如采用微机监控系统时开始就应考虑简化常规监测系统，主要是简化指示性表计和光字牌。控制屏的数量和主控制室的面积也可相应减小。这样，因常规监测系统的简化而节省下来的资金便可用于装设微机监控系统。不仅改善了监测系统的技术水平，投资也增加得不多。

第二节　配电所电气设备继电保护装置的配置

一、配电变压器继电保护的类型

1. 配电变压器的瓦斯保护

在配电变压器油箱内常见的故障有绕组匝间或层间绝缘破坏造成的短路和高压绕组对地（铁心）绝缘破坏引起的单相接地。对上述故障，若短路匝数很少或经电弧电阻短路时，反映到变压器纵差保护或接地保护装置中的电流很小，可能不会使保护装置动作。但变压器油箱内发生的任何一种故障（包括轻微的匝间短路），在短路电流和短路点电弧的作用下，都会使变压器油及其他绝缘材料因受热而分解产生气体，因气体比较轻，它们就要从油箱流向储油柜的上部。当故障严重时，油会迅速膨胀并有大量气体产生，此时，会有剧烈的油流和气流冲向储油柜的上部。用油箱内部故障时的这一特点，可以构成反映气体变化来实现的保护装置，称为瓦斯保护。配电变压器的额定容量在 400kV · A 及以上时，油浸式配电变压器应配置瓦斯保护装置。

瓦斯保护的接线比较简单，如图 13-3 所示。为了防止变压器内严重故障时，由于油流的不稳定，引起气体继电器重瓦斯触头时通时断而造成不能可靠跳闸，必须选用具有自保持电流线圈的出口中间继电器 KCO，在保护装置动作后，同时将变压器两侧断路器 QF1 和 QF2 跳闸，并借助断路器的辅助触头 QF1-2、QF2-2 来解除出口回路的自保持。

为了防止瓦斯保护在变压器换油或气体继电器试验时误动作，在出口回路中装设了切换片 XB。切换回路中电阻 R 的阻值应选择得使串联信号继电器 KS 能可靠动作。气体继电器 KG 的上触头为轻瓦斯，动作后发出延时信号。

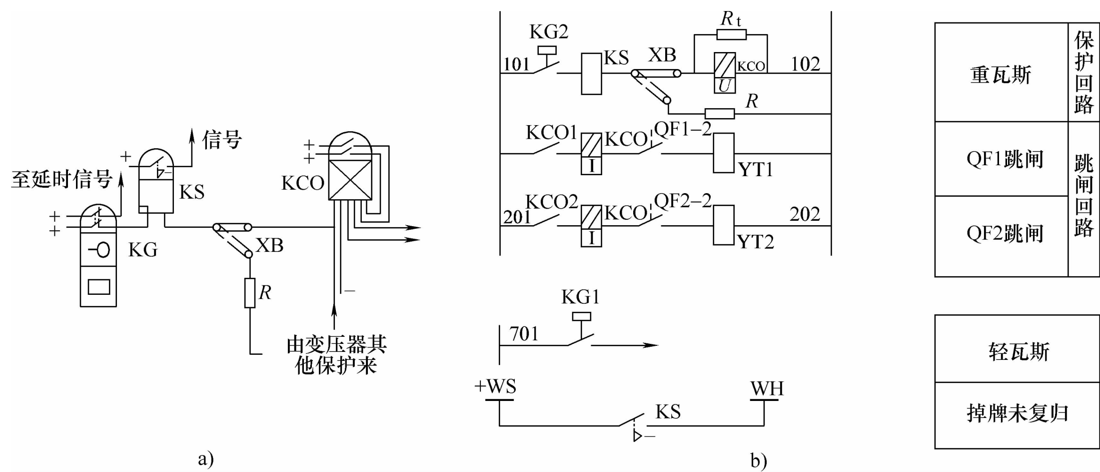


图 13-3　瓦斯保护的接线

a）原理图　b）展开图

瓦斯保护装置动作后，应立即通过继电器上的透明玻璃（其上有气体容积刻度）观察气体的数量和颜色，收集气体，检查其化学成分和可燃性，根据气体分析的结果，作出变压器故障性质的有关结论。

2. 配电变压器电流速断保护

瓦斯保护虽然是反映变压器油箱内部故障最灵敏而快速的保护，但它不能反映油箱外部的故障，因此，对容量较小的电力变压器，可以在电源侧装设电流速断保护。它与瓦斯保护互相配合，就可以保护变压器内部和电源侧套管及引出线上的全部故障。

电流速断保护原理接线如图 13-4 所示。电源侧为大接地电流系统时，保护采用完全星形联结；为小接地电流系统时，则采用两相式不完全星形联结。

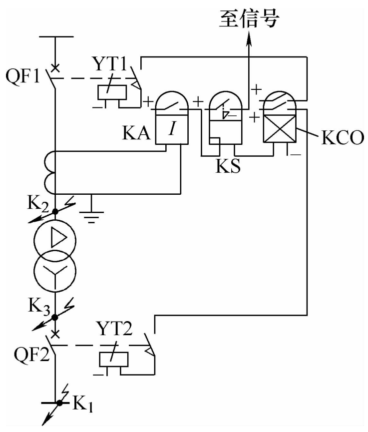


图 13-4　变压器电流速断保护原理接线

3. 配电变压器过电流保护

为了防止外部短路引起的过电流，并作变压器本身故障的后备保护，一般在变压器上都应装设过电流保护装置。保护装置安装在变压器电源侧，这样在发生内部故障时，若差动（或速断）等快速动作的保护拒动作时，应由过电流保护装置经过整定时限后，动作于断开变压器各侧的断路器。

配电变压器过电流保护的单相原理接线如图 13-5 所示。

4. 配电变压器过负荷保护

配电变压器过负荷保护主要是为了防止配电变压器异常运行时，由于过负荷而引起的过电流。在经常有人值班的情况下，保护装置动作后，经过一定的延时发送信号，过负荷保护装设在配电变压器 10kV 电源侧。配电变压器过负荷保护的原理接线如图 13-6 所示。

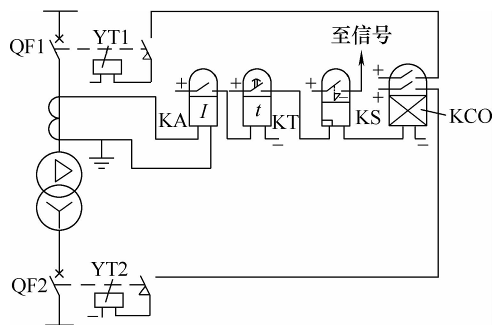


图 13-5　配电变压器过电流保护单相原理接线

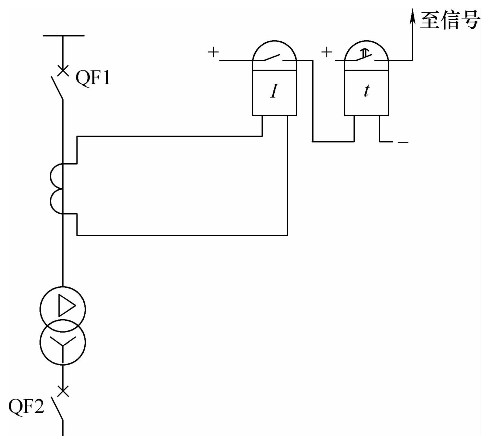


图 13-6　配电变压器过负荷保护原理接线

5. 配电变压器的接地保护

在大电流接地系统中，为了防止配电所的母线和引出线发生单相接地或两相接地，以及变压器中性点接地侧线圈内部接地，一般应在变压器上装设零序后备保护。

变压器零序过电流保护一般接于变压器中性点处的电流互感器上。双绕组变压器零序过电流保护的接线方式简单、经济，具有较高的灵敏度，且没有因电流互感器误差而引起的不平衡电流。

6. 配电变压温度控制

配电所油浸式或干式配电变压器设置了温度控制器。运行中的配电变压器温度超过规定值时，发出报警信号，运行人员采取减负荷运行或相关的降温措施。

二、配电所电气设备微机保护的配置

1. 微机保护配置的原则

（1）10kV 配电所保护装置的配置原则

1）采用数字式微机保护装置，不设后台。数字式保护装置分散布置在开关柜上，设中央信号装置。

2）采用数字式微机综合自动化系统，设置后台。数字式微机保护测控装置分散布置在开关柜上。

（2）10kV 配电所控制装置的设置原则

1）10kV 配电所宜采用在开关柜就地控制。当采用数字式综合自动化系统时，在就地及后台控制。10kV 断路器宜采用开关柜就地控制。

2）10kV 配电所采用数字式综合自动化系统时，宜将监控系统引至中央控制室或生产调度室。

3）断路器采用集中控制方式时，应在开关柜上设分、合闸控制及指示装置。

2. 双电源单母线不分段继电保护

配电所 10kV 双电源电缆进线，高压供电高压侧计量，单母线不分段，两台油浸式配电变压器供电，单台配电变压器额定容量 $S_N = 1250$kV · A，Dyn11 联结，其继电保护配置原则如图 13-7 所示。

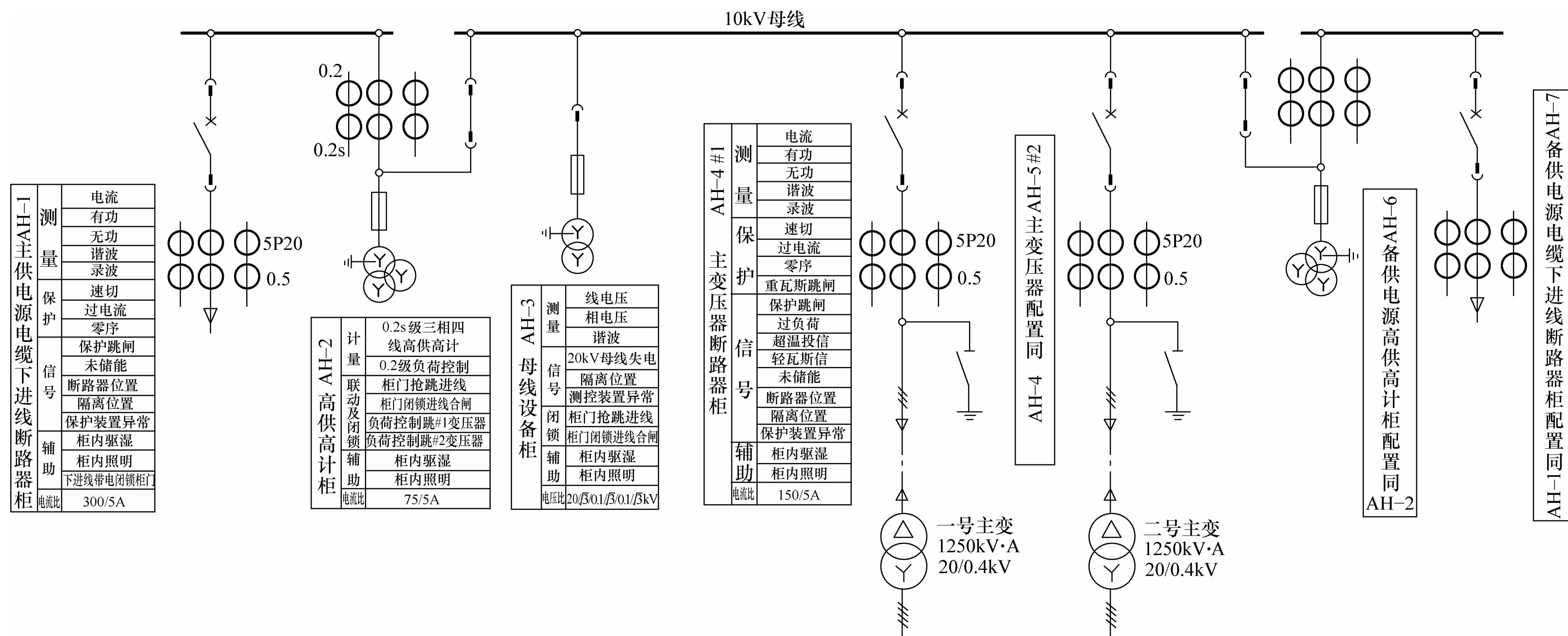


图 13-7　双电源高供高计单母线不分段继电保护配置原则

10kV进线Ⅰ

10kVⅠ段母线

10kVⅡ段母线

10kV进线Ⅱ

5P20 0.5

0.2 0.2s

1AH-1 架空进线断路器柜		
	测量	电流
		有功
		无功
		谐波
		录波
	保护	速切
		过电流
		零序
	信号	保护跳闸
		未储能
		断路器位置
		隔离位置
		保护装置异常
	辅助	柜内驱湿
	电流比	400A/5A

1AH-2 高供高计柜		
	计量	0.2s级三相四线高供高计
		0.2级负荷控制
	联动及闭锁	柜门抢跳进线
		柜门闭锁进线合闸
		负荷控制跳#1变压器
		负荷控制跳#3变压器
	辅助	柜内驱湿
		柜内照明
	电流比	150/5A

1AH-3 母线设备柜		
	测量	线电压
		相电压
		谐波
	信号	20kVⅠ段母线失电
		主刀位置
		测控装置异常
	闭锁	柜门抢跳进线
		柜门闭锁进线合闸
	辅助	柜内驱湿
		柜内照明
	电压比	20/√3/0.1/√3/0.1/√3kV

1AH-4 #1主变压器断路器柜		
	测量	电流
		有功
		无功
		谐波
		录波
	保护	速切
		过电流
		零序
		超温跳闸
	信号	保护跳闸
		过负荷
		超温投信
		轻温信
		未储能
		断路器位置
		隔离位置
		保护装置异常
	辅助	柜内驱湿
		柜内照明
	电流比	150/5A

一号主变压器
1250kVA
20/0.4kV

1AH-6 母线分段断路器柜		
	测量	电流
		有功
		无功
	保护	充电
		过电流
		零序
	信号	保护跳闸
		未储能
		断路器位置
		隔离位置
		保护装置异常
	辅助	柜内驱湿
		柜内照明
		正逆向闭锁隔离车
	电流比	300/5A

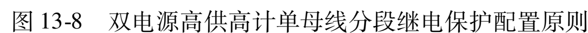
四号主变压器
1250kVA
20/0.4kV

二号主变压器
配置同一号主变压器

2AH-3 母线设备柜		
	测量	线电压
		相电压
		谐波
	信号	20kVⅡ段母线失电
		主刀位置
		测控装置异常
	闭锁	柜门抢跳进线
		柜门闭锁进线合闸
	辅助	柜内驱湿
		柜内照明
	电压比	20/√3/0.1/√3/0.1/√3kV

2AH-2高供高计柜配置
同1AH-2高供高计相

2AH-1架空进线配置同左1AH-1


图 13-8　双电源高供高计单母线分段继电保护配置原则

配电所10kV电缆进线选用移开式手车柜。直流控制电压为40A·h/DC220V，断路器储能电压取AC220V。进线和主变压器柜选用数字保护装置和数字多功能仪表；母线设备柜选用数字测控装置。进线、主变压器零序电流保护为$3I_0$取样，也可以设置电缆型零序穿心电流互感器取样。

3. 双电源单母线分段继电保护

配电所由10kV双电源架空线进线、高供高计，单母线分段、两台干式配电变压器供电，单台配电变压器额定容量$S_N=1250kV \cdot A$，DYn11联结，其继电保护配置原则如图13-8所示。

配电所10kV架空上进线手车柜。直流控制电压为60A·h/DC220V，断路器储能电压取AC220V。两进线和主变压器柜选用数字保护装置和数字多功能仪表；母线设备柜选用数字测控装置。两路10kV电源同时供电单母线分段；两路进线和分段断路器设置三锁两钥匙机械闭锁。10kV进线、主变压器零序电流保护为$3I_0$取样，也可以设置电缆型零序穿心电流互感器取样。

三、10kV配电线路的保护

1. 电流速断保护

10kV配电线路的电流速断保护，是防止线路末端相间短路故障的保护，一般都按不完全星形的两相继电器接线方式构成保护回路，如图13-9所示。由于电流继电器的触点KA容量较小，不宜直接闭合断路器的脱扣线圈YT的回路，必须经过中间继电器KM。

2. 过电流保护

10kV配电线路的过电流保护，是在电流增加到超过事先按最大负荷电流而整定的数值时，引起保护动作的保护装置。定时限过电流保护是指不管故障电流超过整定值的多少，其动作时间总是一定的。若动作时间与故障电流值成反比变化，即故障电流超过整定值越多，动作时间越短，则称为反时限过电流保护。

10kV配电线路的定时限过电流保护，一般都按两相不完全星形联结，如图13-10所示。

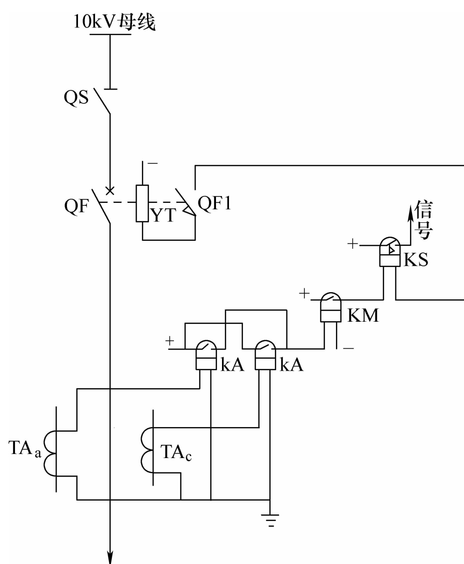


图13-9　电流速断保护接线原理

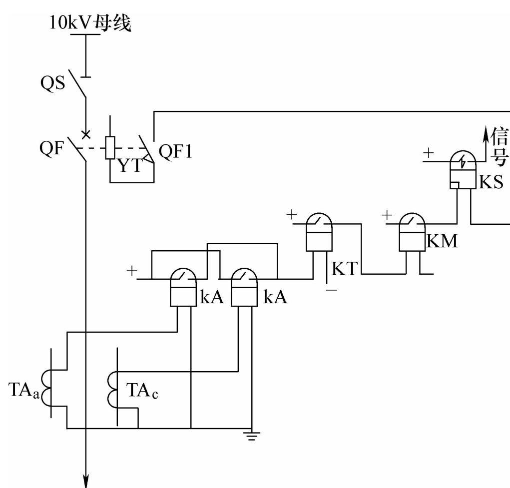


图13-10　过电流保护接线原理

3. 零序电流保护

10kV 配电线路的零序电流保护，请读者参考本章第十节相关内容。

第三节　10kV 配电线路继电保护整定计算

一、无时限电流速断保护

（1）动作电流的整定

无时限电流速断保护的动作电流整定值可按式（13-1）计算，即

$$\left.\begin{aligned} I_{op\cdot1} &= K_{rel}I_K^{(3)} \\ I_{op\cdot2} &= \frac{I_{op\cdot1}}{n_{TA}} = \frac{K_{rel}I_K^{(3)}}{n_{TA}} \end{aligned}\right\} \tag{13-1}$$

式中，$I_{op\cdot1}$、$I_{op\cdot2}$分别为无时限电流速断保护动作电流一次、二次整定值，单位为 A；K_{rel}为可靠系数，取 1.2～1.3；$I_K^{(3)}$ 为被保护的线路末端三相短咯电流有效值，单位为 A；n_{TA}为电流互感器电流比。

（2）校验保护动作灵敏度

无时限电流速断保护动作灵敏度可按式（13-2）校验，即

$$K_{sen} = \frac{I_{K\cdot min}^{(2)}}{I_{op\cdot1}} \geqslant 1.5 \tag{13-2}$$

式中，K_{sen}为保护动作灵敏度；$I_{K\cdot min}^{(2)}$为被保护线路末端两相短路电流最小有效值，单位为 A；$I_{op\cdot1}$为保护动作电流一次整定值，单位为 A。

（3）动作时间整定

无时限电流速断保护动作时间整定值 $t=0s$。

二、带时限电流速断保护

（1）动作电流整定

带时限电流速断保护动作电流整定值按式（13-3）计算，即

$$\left.\begin{aligned} I_{op\cdot1} &= K_{rel}I_K^{(3)} \\ I_{op\cdot2} &= \frac{I_{op\cdot1}}{n_{TA}} = \frac{K_{rel}I_K^{(3)}}{n_{TA}} \end{aligned}\right\} \tag{13-3}$$

式中，$I_{op\cdot1}$、$I_{op\cdot2}$分别为带时限电流速断保护动作电流一次、二次整定值，单位为 A，K_{rel}为可靠系数，取 1.1～1.15；n_{TA}为电流互感器电流比。

（2）校验保护动作灵敏度

带时限电流速断保护动作灵敏度按式（13-4）校验，即

$$K_{sen} = \frac{I_{K\cdot min}^{(2)}}{I_{op\cdot1}} \geqslant 1.5 \tag{13-4}$$

式中，K_{sen}为保护动作灵敏度；$I_{K\cdot min}^{(2)}$为在线路末端短路时，流过保护装置的两相短路电流，单位为 A；$I_{op\cdot1}$为保护动作电流一次整定值，单位为 A。

（3）动作时间的整定

带时限电流速断保护动作时间一般整定为 $t=0.5s$。

三、过电流保护

（1）动作电流整定

过电流保护动作电流整定值按式（13-5）计算，即

$$\left.\begin{aligned}I_{op\cdot 1}&=\frac{K_{rel}I_{N1}}{K_r}\\I_{op\cdot 2}&=\frac{I_{op\cdot 1}}{n_{TA}}=\frac{K_{rel}I_{N1}}{K_r n_{TA}}\end{aligned}\right\}\tag{13-5}$$

式中，$I_{op\cdot 1}$、$I_{op\cdot 2}$分别为过电流保护动作电流一次、二次整定值，单位为 A；K_{rel}为可靠系数，取 1.15～1.2；K_r 为返回系数，取 0.95～0.98；n_{TA}为电流互感器电流比；I_{N1}为配电变压器一次额定电流，单位为 A。

（2）校验保护动作灵敏度

过电流保护动作灵敏度按式（13-6）校验，即

$$K_{sen}=\frac{I_{K\cdot min}^{(2)}}{I_{op\cdot 1}}\geqslant 1.5\tag{13-6}$$

式中，K_{sen}为保护动作灵敏度；$I_{K\cdot min}^{(2)}$为被保护的线路末端两相短路电流，单位为 A；$I_{op\cdot 1}$为保护动作电流一次整定值，单位为 A。

（3）动作时间整定

动作时间整定按式（13-7）计算，即

$$t=t_1+\Delta t\tag{13-7}$$

式中，t 为上一级保护动作时间，单位为 s；t_1 为本级保护动作时间，一般取 $t_1=0.3$s；Δt 为本级与上级保护动作时间差，一般取 0.3～0.5s。

【例 13-1】 某 35kV 电源变电所，10kV 母线短路容量 $S_{KS}=250$MV · A。10kV 架空线路采用 LGJ-95 型钢芯铝绞线，长度 $L_1=2$km，10kV 电缆采用 ZR-YJLV22-8.7/12 型三芯铝电缆，长度 $L_2=0.1$km。10kV 用户配电所安装 2×SBH11-M-2500/10 型配电变压器，额定电压 $U_{N1}/U_{N2}=10/0.4$kV，电压比 $K=25$，阻抗电压 $u_K\%=5\%$，额定电流 $I_N=2I_{N1}=2\times137.5=275$A，电流互感器电流比 $n_{TA}=400/5=80$，二次电流 $I_{N2}=2I_{N1}/n_{TA}=2\times137.5/80$A $=3.44$A。10kV 配电系统如图 13-11 所示，试计算该配电所 10kV 电源进线继电保护的相关参数。

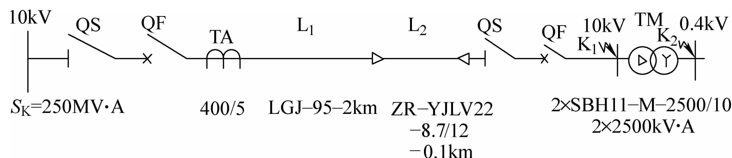


图 13-11　10kV 配电系统

解：

1. 10kV 线路短路电流计算

（1）架空线路的电抗

查表 1-10 得 10kV 架空线路单位长度电抗 $X_{L1\cdot 0}=0.4\Omega/\text{km}$，线路电抗按式（1-41）计算，得

$$X_{L1} = X_{L1 \cdot 0} L_1 = (0.4 \times 2)\Omega = 0.8\Omega$$

（2）电缆线路的电抗

查表 1-10 得 10kV 电缆单位长度电抗 $X_{L2 \cdot 0} = 0.08\Omega/km$，电缆的电抗按式（1-41）计算，得

$$X_{L2} = X_{L2 \cdot \triangle} L_2 = 0.08 \times 0.1 = 0.008\Omega$$

（3）系统的标幺值

采用标幺值计算短路电流时，取基准容量 $S_j = 100MV \cdot A$，基准电压 $U_j = 10.5kV$，$U_j = 0.4kV$，基准电流 $I_j = 5.5kA$，$I_j = 144.5kA$。

系统标幺值按式（1-49）计算，得

$$X_{S*} = \frac{S_j}{S_K} = \frac{100}{250} = 0.4$$

（4）架空线路的电抗标幺值

架空线路的电抗标幺值按式（1-55）计算，得

$$X_{L1*} = X_{L1} \frac{S_j}{U_{av}^2} = 0.8 \times \frac{100}{10.5^2} = 0.7256$$

（5）电缆的电抗标幺值

电缆的电抗标幺值按式（1-55）计算，得

$$X_{L2*} = X_{L2} \frac{S_j}{U_{av}^2} = 0.008 \times \frac{100}{10.5^2} = 0.007256$$

（6）配电变压器的电抗标幺值

配电变压器的电抗标幺值按式（1-53）计算，得

$$X_{T*} = \frac{u_K\%}{100} \times \frac{S_j}{S_N} = \frac{5}{100} \times \frac{100}{2.5} = 2$$

10kV 配电系统电抗标幺值等效电路如图 13-12 所示。

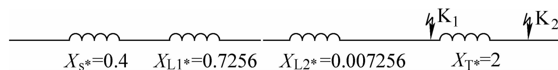


图 13-12　10kV 配电系统电抗标幺值等效电路

（7）K_1 处短路电流的计算

短路系统电抗标幺值为

$$\begin{aligned}\sum X_{K1*} &= X_{s*} + X_{L1*} + X_{L2*} \\ &= 0.4 + 0.7256 + 0.007256 \\ &= 1.133\end{aligned}$$

K_1 处三相短路电流有效值按式（1-57）计算，得

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{I_j}{\sum X_{K1*}} = \frac{5.5}{1.133} kA = 4.85kA = 4850A$$

K_1 处两相短路电流有效值按式（1-58）计算，得

$$I_{K1 \cdot min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{K1}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 4850A = 4200A$$

（8）K_2 处短路电流的计算

短路系统电抗标幺值为

$$\sum X_{K2*} = X_{s*} + X_{L1*} + X_{L2*} + X_{T*}$$

$$= 0.4 + 0.7256 + 0.007256 + 2$$
$$= 3.133$$

K_2 处三相短路电流有效值按式（1-57）计算，得

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{I_j}{\sum X_{K2*}} = \frac{144.5}{3.133}\text{kA} = 46.12\text{kA} = 46120\text{A}$$

K_2 处三相短路电流有效值折算到 10kV 侧时为

$$I_{K2}^{(3)\prime} = \frac{I_{K2}^{(3)}}{K} = \frac{46120}{25}\text{A} = 1844.8\text{A}$$

2. 无时限电流速断保护动作电流整定计算

（1）动作电流的整定

电流速断保护动作电流整定值按式（13-1）计算，得

$$I_{op\cdot 1} = K_{rel} I_{K1}^{(3)} = 1.3 \times 4850\text{A} = 6305\text{A}$$

$$I_{op\cdot 2} = \frac{I_{op\cdot 1}}{n_{TA}} = \frac{6305}{80}\text{A} = 78.81\text{A}$$

查表 13-7，选用 RCS-9612AⅡ型微机线路保护测控装置，其Ⅰ段电流保护动作电流整定范围为 $0.1I_n \sim 20I_n = 0.1 \times 3.44 \sim 20 \times 3.44\text{A} = 0.344 \sim 68.8\text{A}$。

故电流速断保护动作电流整定值取 $I_{op\cdot 1} = 4800\text{A}$，$I_{op\cdot 2} = 60\text{A}$。

（2）校验保护动作灵敏度

无时限电流速断保护动作灵敏度按式（13-2）校验，得

$$K_{sen} = \frac{I_{K1\cdot min}^{(2)}}{I_{op\cdot 1}} = \frac{4200}{4800} = 0.88 < 1.5$$

可知无时限电流速断保护灵敏度不能满足要求，故应装设带时限电流速断保护装置。

（3）动作时间整定 $t = 0\text{s}$。

3. 带时限电流速断保护

（1）动作电流的整定

带时限电流速断保护动作电流整定值按式（13-3）计算，得

$$I_{op\cdot 1} = K_{rel} I_{K2}^{(3)} = 1.15 \times 1844.8\text{A} = 2122\text{A}$$

$$I_{op\cdot 2} = \frac{I_{op\cdot 1}}{n_{TA}} = \frac{2122}{80}\text{A} = 26.5\text{A}$$

取整定值 $I_{op\cdot 1} = 2000\text{A}$，$I_{op\cdot 2} = 25\text{A}$。

（2）校验保护动作灵敏度

保护动作灵敏度按式（13-4）校验，得

$$K_{sen} = \frac{I_{K1\cdot min}^{(2)}}{I_{op\cdot 1}} = \frac{4200}{2000} = 2.1 > 1.5$$

故灵敏度满足要求。

（3）动作时间的整定

动作时间整定 $t = 0.5\text{s}$。

4. 过电流保护的整定计算

（1）概述

该 10kV 配电所，安装 2 台 2500kV · A 的配电变压器，正常情况下，由两回 10kV 电源线路单独供电，配电变压器分列运行。当其中一回 10kV 线路停役时，将由运行的一回 10kV 电源线路供电，则最大负荷电流为 $I_N = 2I_{N1} = 2 \times 137.5\text{A} = 275\text{A}$。

（2）过电流保护动作电流的整定

10kV 线路过电流保护动作电流整定值按式（13-5）计算，得

$$I_{op\cdot1} = \frac{K_{rel}I_N}{K_r} = \frac{1.2 \times 275}{0.95}\text{A} = 347.4\text{A}$$

$$I_{op\cdot2} = \frac{I_{op\cdot1}}{n_{TA}} = \frac{347.4}{80}\text{A} = 4.34\text{A}$$

整定值取 $I_{op\cdot1} = 344\text{A}$，$I_{op\cdot2} = 4.3\text{A}$。

查表 13-7，RCS-9612AⅡ型线路微机保护装置，Ⅱ段过电流保护整定值范围为 $0.1 \sim 20I_n = 0.1 \times 3.44 \sim 20 \times 3.44\text{A} = 0.344 \sim 68.8\text{A}$，故保护装置过电流保护，二次动作电流整定值 $I_{op\cdot2} = 4.3\text{A}$，满足保护要求。

（3）校验保护动作灵敏度

过电流保护动作灵敏度按式（13-6）校验，得

$$K_{sen} = \frac{I_{K1}^{(2)}}{I_{op\cdot1}} = \frac{4200}{347.4} = 12.1 > 1.5$$

故灵敏度满足要求。

（4）动作时间的整定

本级保护动作时间 $t_1 = 0.3\text{s}$，与上一级保护时间差 $\Delta t = 0.5\text{s}$，上一级保护动作时间按式（13-7）计算，得

$$t = t_1 + \Delta t = (0.3 + 0.5)\text{s} = 0.8\text{s}$$

10kV 线路保护动作相关整定值见表 13-1。

表 13-1　10kV 线路保护动作相关整定值

名　　称	动作电流一次整定值/A	动作电流二次整定值/A	保护动作灵敏度		动作时间/s
			规定值	计算值	
	$I_{op\cdot1}$	$I_{op\cdot2}$	K_{sen}		t
无时限电流速断保护	4800	60	1.5	0.88	0
带时限电流速断保护	2000	25	1.5	2.1	0.5
过电流保护	344	4.3	1.5	12.1	0.8

第四节　配电变压器继电保护整定计算

一、电流速断保护

1. 动作电流的整定

配电变压器电流速断保护的动作电流整定值按式（13-8）计算，即

$$\left.\begin{aligned} I_{op\cdot1} &= K_{rel}I_K^{(3)} \\ I_{op\cdot2} &= \frac{I_{op\cdot1}}{n_{TA}} = \frac{K_{rel}}{n_{TA}}I_K^{(3)} \end{aligned}\right\} \tag{13-8}$$

式中，$I_{op\cdot1}$、$I_{op\cdot2}$分别为保护动作电流一次、二次整定值，单位为 A；K_{rel}为可靠系数，取 1.4～1.5；$I_K^{(3)}$ 为配电变压器二次侧母线处折算到 10kV 侧三相短路电流有效值，单位为 A；n_{TA}为电流互感器电流比。

2. 校验保护动作灵敏度

配电变压器电流速断保护动作灵敏度按式（13-9）校验，即

$$K_{sen}=\frac{I_{K\cdot\min}^{(2)}}{I_{op\cdot1}}\geqslant2 \tag{13-9}$$

式中，K_{sen}为保护动作灵敏度；$I_{K\cdot\min}^{(3)}$为最小运行方式下，保护安装处两相短路时的最小短路电流，单位为 A；$I_{op\cdot1}$为保护动作电流一次整定值，单位为 A。

3. 动作时间整定

保护动作时间整定 $t=0$s。

二、过电流保护

1. 动作电流整定

配电变压器过电流保护的动作电流整定值按式（13-10）计算，即

$$\left.\begin{aligned}I_{op\cdot1}&=\frac{K_{rel}}{K_r}I_{P\cdot\max}\\I_{op\cdot2}&=\frac{I_{op\cdot1}}{n_{TA}}=\frac{K_{rel}}{K_rn_{TA}}I_{P\cdot\max}\end{aligned}\right\} \tag{13-10}$$

式中，$I_{op\cdot1}$、$I_{op\cdot2}$分别为过电流保护动作一次、二次整定电流，单位为 A；K_{rel}为可靠系数，取 1.2～1.3；K_r 为返回系数，取 0.95～0.98；n_{TA}为电流互感器电流比；$I_{P\cdot\max}$为配电变压器一次侧最大负荷电流，单位为 A。

2. 校验保护动作灵敏度

过电流保护动作灵敏度按式（13-11）校验，即

$$K_{sen}=\frac{I_{K\cdot\min}^{(2)}}{I_{op\cdot1}}\geqslant1.5 \tag{13-11}$$

式中，K_{sen}为保护动作灵敏度；$I_{K\cdot\min}^{(2)}$为在灵敏度校验点发生两相短路时，流过保护装置的最小短路电流，单位为 A。$I_{op\cdot1}$为保护动作一次整定电流，单位为 A。

3. 动作时间的整定

过电流保护动作时间按式（13-12）整定，即

$$t=t_1+\Delta t \tag{13-12}$$

式中，t 为上级保护动作时间，单位为 s；t_1 为本级保护动作时间，单位为 s；Δt 为本级保护与上级保护动作时间级差，取 0.3～0.5s。

三、过负荷保护

在可能发生过负荷运行的变压器上，都需装设过负荷保护装置。在有人值班的情况下，过负荷保护通常作用于信号；在无人值班变电所中，过负荷保护可动作于跳闸或断开部分负荷。变压器的过负荷电流，在大多情况下都是三相对称的，因此过负荷保护只需接入一相电流，用一个电流继电器来实现，经过延时作用于跳闸或信号。

二次电压为 400V 的电力变压器低压侧装设低压断路器时，可利用低压断路器长延时脱扣器达到过负荷保护延时的目的。

变压器过负荷保护的动作电流，按躲过变压器额定电流来整定，即

$$\left.\begin{aligned} I_{op\cdot1} &= \frac{K_{rel}}{K_r} I_N \\ I_{op\cdot2} &= \frac{I_{op\cdot1}}{n_{TA}} \end{aligned}\right\} \tag{13-13}$$

式中，K_{rel}为可靠系数，取 $K_{rel}=1.05$；K_r 为返回系数，取 $K_r=0.95\sim0.98$；I_N 为保护安装侧绕组的额定电流；n_{TA}为电流互感器电流比。

为了防止保护装置在外部短路及短时过负荷时也作用于信号，其动作时限一般整定为 9 ~10s。

四、零序电流保护

零序电流保护的一次动作电流的整定计算。

（1）应躲开正常运行时可能流过变压器中性线上的最大不平衡负荷电流

$$\left.\begin{aligned} I_{op\cdot1} &= K_{rel}\times0.25I_N \\ I_{op\cdot2} &= \frac{I_{op\cdot1}}{n_{TA}} = \frac{K_{rel}\times0.25I_N}{n_{TA}} \end{aligned}\right\} \tag{13-14}$$

式中，K_{rel}为可靠系数，一般取 $K_{rel}=1.2\sim1.3$；I_N 为变压器二次额定电流；n_{TA}为电流互感器电流比。

（2）和相邻元件低压电动机保护相配合

$$I_{op} = K_{rel}K_{co}K_{st}I_{N\cdot max} \tag{13-15}$$

式中，K_{rel}为可靠系数，取 $K_{rel}=1.2$；K_{co}为配合系数，取 $K_{co}=1.1$；K_{st}为电动机起动电流倍数；$I_{N\cdot max}$为最大电动机的额定电流。

五、温度保护

DL/T572—2010《电力变压器运行规程》规定，油浸式自然循环自冷、风冷电力变压器在正常运行情况下允许温度按顶层油温检查，顶层油温最高不得超过 95℃（制造厂商有规定时按制造厂商规定执行）。为防止变压器油迅速劣化，顶层油温一般不宜经常超过 85℃。根据规定，凡容量在 1000kV · A 及以上的油浸式变压器均应有温度信号计，当顶层油温超过 85℃时，温度计动作发出超温信号。

干式配电变压器，155（F）级环氧树脂绝缘，其极限耐热温度为 155℃，满负荷运行时，最高温度为 140℃。

【例 13-2】 某配电所，安装 1 台 SBH11-M-2500/10 型配电变压器，额定电压 U_{N1}/U_{N2} = 10/0.4kV，电压比 $K=10/0.4=25$，额定容量 $S_N=2500$kV · A，10kV 侧额定电流 I_{N1} = 137.5A。0.4kV 侧额定电流 $I_{N2}=3608.55$A，10kV 侧电流互感器电流比 $n_{TA}=300/5=60$。配电变压器 10kV 侧两相短路电流有效值 $I_{K1}^{(2)}=4.42$kA，0.4kV 侧母线处三相短路电流有效值 $I_{K2}^{(3)}=31.46$kA。试计算该配电变压器 10kV 侧继电保护相关整定值。

解：

1. 电流速断保护

（1）动作电流整定计算

配电变压器 0.4kV 侧三相短路电流有效值折算到 10kV 侧为

$$I_{K2}^{(3)\prime}=\frac{I_{K2}^{(3)}}{K}=\frac{31.46}{25}\text{kA}=1.2584\text{kA}\approx 1258\text{A}$$

电流速断保护动作电流整定值按式（13-8）计算，即

$$I_{op\cdot 1}=K_{rel}I_{K2}^{(3)\prime}=1.4\times 1258\text{A}=1761\text{A}$$

$$I_{op\cdot 2}=\frac{I_{op\cdot 1}}{n_{TA}}=\frac{1761}{60}\text{A}=29.35\text{A}$$

整定值取 $I_{op\cdot 1}=1740\text{A}$，$I_{op\cdot 2}=29\text{A}$。

（2）校验保护动作灵敏度

速断保护动作灵敏度按式（13-9）校验，即

$$K_{sen}=\frac{I_{K1\cdot min}^{(2)}}{I_{op\cdot 1}}=\frac{4420}{1740}=2.54>2$$

故满足要求。

查表 13-13 得 RCS-9621A 型配电变压器保护测控装置，过电流保护Ⅰ段整定值为 0.1 ~ $20I_n$，10kV 侧电流互感器二次侧额定电流为 $I_n=I_{N1}/n_{TA}=137.5/60\text{A}=2.29\text{A}$，则整定值范围为 $I_{op\cdot 2}=0.1\sim 20I_n=0.1\times 2.29\sim 2.0\times 2.29\text{A}=0.229\sim 45.8\text{A}$，故整定值 $I_{op\cdot 2}=29\text{A}$，满足要求。

（3）动作时间整定

保护动作时间整定 $t=0\text{s}$。

2. 过电流保护

（1）动作电流的整定

配电变压器 10kV 侧额定电流 $I_{N1}=137.5\text{A}$，按 20% 过负荷计算，则配电变压器的最大负荷电流 $I_{P\cdot max}=1.2I_{N1}=1.2\times 137.5\text{A}=165\text{A}$。

配电变压器过电流保护动作电流整定值按式（13-10）计算，得

$$I_{op\cdot 1}=\frac{K_{rel}}{K_r}I_{P\cdot max}=\frac{1.2}{0.95}\times 165\text{A}=208.42\text{A}$$

$$I_{op\cdot 2}=\frac{I_{op\cdot 1}}{n_{TA}}=\frac{208.42}{60}\text{A}=3.47\text{A}$$

故整定值取 $I_{op\cdot 1}=204\text{A}$，$I_{op\cdot 2}=3.4\text{A}$

（2）校验保护动作灵敏度

保护动作灵敏度按式（13-11）校验，得

$$K_{sen}=\frac{I_{K1\cdot min}^{(2)}}{I_{op\cdot 1}}=\frac{4420}{204}=21.7>1.5$$

故满足要求。

查表 13-13 得 RCS-9621A 型配电变压器保护测控装置，过电流保护Ⅱ段整定值为 0.1 ~ $20I_n=0.1\times 2.29\sim 20\times 2.29\text{A}=0.229\sim 45.8\text{A}$，故整定值 $I_{op\cdot 2}=3.4\text{A}$ 满足要求。

（3）动作时间整定

设本级保护动作时间 $t_1=0.3\text{s}$，则上级动作时间按式（13-12）整定，得

$$t=t_1+\Delta t=(0.3+0.5)\text{s}=0.8\text{s}$$

3. 过负荷保护

配电变压器过负荷保护一次动作电流整定值按式(13-13)计算，得

$$I_{op \cdot 1}=\frac{K_{rel}}{K_r}I_{N1}=\frac{1.05}{0.95}\times 137.5A=152A$$

$$I_{op \cdot 2}=\frac{I_{op \cdot 1}}{n_{TA}}=\frac{152}{60}=2.5A$$

故整定值取 $I_{op \cdot 1}=150A$，$I_{op \cdot 2}=2.5A$。

动作时间整定 $t=10s$，保护动作发出过负荷信号。

4. 零序电流保护

配电变压器低压侧相零短路零序电流保护动作电流整定值按式（13-14）计算，得

$$I_{op \cdot 1}=K_{rel}\times 0.25I_{N2}=1.2\times 0.25\times 3608.55A=1082.57A$$

查表 13-17，选择 Y-LJ100J 型零序电流互感器，额定电流 $I_{N0}/I_{n0}=1000/5A$，零序电流互感器电流比 $n_{TA0}=1000/5=200$，则配电变压器零序电流保护动作电流整定值为 $I_{op \cdot 1}=1000A$，$I_{op \cdot 2}=5A$。

零序电流保护动作时间整定 $t=0.2s$。

零序电流保护动作跳配电变压器 10kV 侧断路器。

5. 配电变压器温度保护

油浸式配电变压器顶层油温控制在 85℃，超过 85℃时，温度保护装置发出超温信号。运行人员应适当减轻配电变压器的负荷，或采取开启风扇等其他降温措施。

10kV 配电变压器保护动作相关整定值见表 13-2。

表 13-2　10kV 配电变压器保护动作相关整定值

名　　称	保护动作电流一次整定值/A	保护动作电流二次整定值/A	保护动作灵敏度		动作时间/s
			规定值	计算值	
	$I_{op \cdot 1}$	$I_{op \cdot 2}$	K_{sen}		t
电流速断保护	1740	29	2	2.54	0
过电流保护	204	3.4	1.5	21.7	0.8
过负荷保护	152	2.5			10
零度电流保护	1000	5			0.2
温度保护	85℃				

第五节　智能化配电元件（IPD）

一、概述

IPD（Intelligent Power Device）是 ABB 公司推出专门用于低压系统智能化元件。

其产品系列包括通信处理机及 HMI（人机界面）、M101/M102 智能电动机控制单元、PMC916 电力监测与控制装置、EM 智能电量仪表、RTU 监测与分布式控制装置以及专用电流互感器等。IPD 产品系列齐全，可以实现从低端的智能化数据采集到高端的智能化现场监控与管理功能。

配置了 IPD 的低压开关柜可直接通过以太网接口（TCP/IP）与上级系统建立通信连接，故 IPD 是实现从传统低压开关柜到智能化低压开关柜转变的重要工具。

IPD 产品均采用标准的通信接口和开放的通信协议，可与任何计算机管理系统通信连接，如楼宇自动化系统（BAS）、集散控制系统（DCS）、配网自动化系统、电力调度系统等。

二、人机界面（HMI）

1. 简介

在配电系统自动化中，HMI 是用于实现配电系统的通信处理和设备管理功能的智能单元。具有良好的人机界面，可将多种装置和设备通过现场总线技术有机地连接起来，并可在测控网上实现信息交换和共享利用，同时还能够实现现场层面的人机对话。

HMI 与其他系统（如配电监控或调度中心、楼宇自控中心的 BAS、工厂过程控制中心的 DCS、消防系统控制中心的 FCS 系统等）均可通过标准接口和标准通信协议转发和交换配电系统数据，在配电系统自动化中起到通信枢纽的作用。

2. 基本功能

1）实现与现场的各种智能设备通信连接和数据处理；

2）使用图形直观显示现场的状态信息和测量信息；

3）系统具有实时拓扑分析功能，帮助用户判断电力系统运行情况；

4）实现对电力设备远程测控；

5）实现对电力设备的保护定值进行远程读写操作；

6）实现对智能电力设备进行保护复归；

7）采集和查询电力系统的遥信、遥脉、遥测等数据；

8）可查询和保存最近一年的告警信息；

9）可向其他系统转发数据；

10）监视现场各种智能设备的通信状态及报文传输状态；

11）通过对用户权限的设置和口令检查等，保证系统操作的安全性；

12）提供监控系统保护和维护的设置功能；

13）实现双机热备功能，保证系统的可靠性。

三、RTU 监测与控制

1. PMC916 电力监测与控制装置

（1）简介

PMC916 电力监测与控制装置（Power Monitoring and Control Unit）是一款广泛应用于电力系统的智能化多功能电力参量测控装置。它可直接用作电参量测量仪表，并同时对 8 路无源开关量进行监视；具有 4 路继电器输出，除了可实现遥控外，还可关联电压、电流、频率、功率等电参量实现告警控制。PMC916 具有面向用户的开放式通信协议，RS-485/Modbus-RTU 通信协议。PMC916 能方便地与各类计算机监控系统实现信息交换。

（2）电量测量功能

电量测量功能包括电流、零序电流、线电压、相电压、三相功率因数、系统频率、系统功率、三相频率、三相有功功率、三相无功功率、三相视在功率、三相有功电能、三相无功电能、谐波分量等参数的测量。

（3）开关量状态监视

1）PMC916 可同时监测 8 路无源开关量信号或无源脉冲量，并提供 DICOM 公共端。在

接线图中，DIx 端子为开关量或脉冲量的输入端 DICOM 端子为开关量或脉冲量的公共端。

2）开关量输入通道接入的信号类型可按实际需求选择，可设置为某几路为开关量，而另外几路为脉冲量。PMC916 预设输入通道接入的信号类型为开关量。此项设置在主菜单 Device Setup（装置设定）的 Signalling Func（信号功能）中。

3）开关量的状态可在 PMC916 的面板上显示出来。当开关量信号状态是 CL （闭合）时，面板上相应的信号灯亮；当开关量信号状态是 OP （分断）时，面板上相应的信号灯灭。

4）当某一路或几路输入功能设置为脉冲量功能时，PMC916 对这一路或几路通道进行脉冲计数，当信号变化到脉冲的上升沿时，对应的脉冲计数加 1。此通道对应的面板上相应的信号灯无效。

5）开关量监测装置对众多的开关量进行监测时，可区分开关量动作事件的时间顺序，即 SOE（事件顺序记录）。

（4）遥控

在 PMC916 中有 4 路继电器输出，均为动合触点。4 路继电器相应的信号灯输出可设定为手动操作、遥控操作和电参量越限告警操作。

1）手动操作：在 PMC916 的面板上用按键进行操作。

2）遥控操作：在监控系统后台通过通信总线实施操作。

3）电参量越限告警操作：PMC916 可将电参量与继电器关联起来，并进行越限告警控制。

①对被测控的电流实施过电流告警及保护输出。

②对被测控的零序电流实施零序电流告警及保护输出。

③对被测控的电压实现低电压、失电压及过电压告警及保护输出。

④对被测控的电力线路中的工频实施低频率和高频率告警输出。

⑤对被测控的电力线路中的功率因数实施低功率因数或过功率因数告警输出。

⑥继电器延时动作时间及动作返回时间。

（5）通信方式

1）通信接口：RS-485。

2）通信协议：Modbus-RTU。

3）通信接线方式：两线制（RS485 +、RS485 -），屏蔽双绞线。

4）通信工作方式：半双工。

5）通信速率：300bit/s、600bit/s、1200bit/s、2400bit/s、4800bit/s、9600bit/s、19200bit/s。

6）节点容量：32。

2. RS132 遥信装置

（1）简介

RS132 遥信装置是智能化配电元件（IPD）中的开关量采集模块，用于采集开关量信号，并转换为数字信号，经通信连接实现与监控系统的数据交换。RS132 采用光隔离输入，可同时采集 32 路无源开关量信号。

（2）主要功能及技术参数

1）输入回路：32 路。

2）输入方式：无源干触点。

3）工作电源：DC24（1 ±10%）V，纹波系数小于 5%。

4）功耗：≤2.5W。

5）总线方式：RS-485。

6）开关量事件分辨率：<2ms。

7）事件顺序记录（SOE）容量：32 个。

8）通信速率：9600bit/s、4800bit/s、1200bit/s、600bit/s（通过拨码选择）。

9）防护等级：IP40（端子部分 IP20）。

10）工作环境：-5 ~55℃。

11）贮存温度：-25 ~85℃。

3. RCM32 遥测装置

（1）简介

1）RCM32 遥测装置是智能化配电元件（IPD）中的模拟量采集模块，通过配接互感器、变送器等，用于采集电流、电压、功率、温度、湿度、压力、流量等模拟量信号，并转换为数字信号，经通信连接实现与监控系统的数据交换。

2）RCM32 遥测装置可同时采集 32 个 0 ~20mA 交流或 4 ~20mA 直流电流信号，实时反映被测对象的遥测值。

3）LNS 系列电流互感器二次绕组可同时输出 5A（1A）/20mA 信号。配电回路电流可经 LNS 系列电流互感器二次侧 0 ~20mA 直接输入 RCM32 实现三相电流的采集，不需要再配置电流变送器。

（2）主要功能及技术参数

1）模拟量输入：32 路。

2）输入方式：AC0 ~20mA，DC4 ~20mA。

3）工作电源：DC24（1 ±10%）V，纹波系数小于 5%。

4）功耗：<2.5W。

5）总线方式：RS485。

6）遥测准确度：0.5%。

7）通信速率：9600bit/s、4800bit/s、1200bit/s、600bit/s（通过拨码选择）。

8）防护等级：IP40（端子部分 IP20）。

9）工作环境：-5 ~55℃。

10）贮存温度：-25 ~85℃。

4. RCU16 遥控装置

（1）简介

RCU16 遥控装置是智能化配电元件（IPD）中的远程继电器输出模块，用于接收计算机指令，执行系统的遥控操作或自动控制。RCU16 有 16 路继电器输出，继电器输出可分为

1）脉冲型：继电器触点闭合 2s 后自动释放；

2）自保持型：继电器输出长期保持为闭合或断开状态。

（2）主要功能及技术参数

1）输出回路：16 路继电器输出。

2）输出容量：AC5A/250V，电阻性负载。或 DC5A/30V。

3）工作电源：DC24（1 ±10%）V，纹波系数小于 5%。

4）功耗：<2.5W。

5）总线方式：RS-485。

6）通信速率：9600bit/s、4800bit/s、1200bit/s、600bit/s（通过拨码选择）。

7）防护等级：IP40（端子部分 IP20）。

8）工作环境：－5～55℃。

9）贮存温度：－25～85℃。

5. RPA32 遥脉装置

（1）简介

RPA32 遥脉装置是智能化配电元件（IPD）中的脉冲量采集模块，用于采集脉冲量信号，并转换为数字信号，经通信连接实现与上级系统的数据交换。RPA32 采用光隔离输入，可同时采集 32 路无源脉冲量信号。

（2）主要功能及技术参数

1）输入回路：32 路。

2）输入方式：无源干触点。

3）工作电源：DC24（1 ±10%）V，纹波系数小于 5%。

4）功耗：≤2.5W。

5）总线方式：RS-485。

6）累积脉冲数（Max）：4294967296［（4 个字节的二-十进制 BCD）码］。

7）通信速率：9600bit/s、4800bit/s、1200bit/s、600bit/s（通过拨码选择）。

8）防护等级：IP40（端子部分 IP20）。

9）工作环境：－5～55℃。

10）贮存温度：－25～85℃。

第六节　RCS-9612AⅡ型微机线路保护测控装置

一、概述

RCS-9612AⅡ微机线路保护测控装置，可作为 10kV 线路保护测控，具有电流速断、过电流保护及负荷监控、遥测、遥控等功能。

二、主要保护功能

1）三段式可经低电压闭锁的定时限方向过电流保护，其中第三段可整定为反时限段；

2）三段零序过电流保护（可选择经方向闭锁）/小电流接地选线；

3）三相一次/二次重合闸（检无压、同期、不检）；

4）过负荷保护；

5）过电流/零序合闸加速保护（前加速或后加速）；

6）低周减载保护；

7）独立的操作回路及故障录波。

三、主要测控功能

1）7 路遥信开入采集、装置遥信变位、事故遥信；

2）正常断路器遥控分合、小电流接地探测遥控分合；

3）UA、UB、UC、UO、UAB、UBC、UCA、IA、IC、IO、P、Q、COSΦ、F 等 14 个模拟量的遥测；

4）开关事故分合次数统计及事件 SOE 等；

5）4 路脉冲输入。

四、技术参数

RCS-9612AⅡ型微机线路保护测控装置技术参数见表 13-3。

表 13-3　RCS-9612AⅡ型微机线路保护测控装置技术参数

序　号	名　称		技术参数
1	额定直流电源/V		220,110（允许偏差 ±15%，-20%）
2	额定交流电压/V		$100/\sqrt{3}$,100
3	额定交流电流/A		5,1
4	额定频率/Hz		50
5	定时限过电流定值		$0.1I_n \sim 20I_n$
6	定时限过电流时间定值/s		0～100
7	定时限过电流定值误差/%		<5
8	重合闸时间/s		0.1～9.9
9	重合闸定值误差/%		<5
10	低周减载	1）低周定值/Hz	45～50
		2）低压闭锁/V	10～90
		3）df/dt 闭锁 Hz/s	0.3～10
		4）定值误差/%	<5
		其中频率误差/Hz	<0.01
11	遥测量计量等级		电流 0.2 级，其他 0.5 级
12	遥信分辨率/ms		<2，信号输入无源接点

五、保护测控功能原理

1. 模拟输入

外部电流及电压输入经隔离互感器隔离变换后，由低通滤波器输入至模-数变换器，CPU 经采样数字处理后，组成各种继电器并判断计算各种遥信遥测量。

Ia、Ib、Ic、Ios 输入为保护用模拟量输入，IA、IC 为测量用专用测量 CT 输入，保证遥测量有足够的准确度。Ios 零序电流输入除可用作零序过电流保护用之外（报警或跳闸），也同时兼作小电流接地选线用输入，零序电流的接入最好用专用零序电流互感器接入，若无专用零序电流互感器，在保证零序电流能满足小接地系统保护选择性要求前提下用三相电流之和即 CT 的中性线电流。UA、UB、UC 电压输入在本装置中除作为测量用输入，与 IA、IC 一起计算形成线路的 P、Q、COSϕ、Kwh、Kvarh 外，还作为低电压闭锁用电压输入。

U_x 主要用于重合闸检无压或同期时所用线路电压输入。

RCS-9612AⅡ型微机线路保护测控装置所用模-数转换器为高准确度 14 位 A-D 转换，结合软件每周 24 点采样，保证了装置遥测精度。另外，本装置具备操作回路，设手跳及保护跳闸两种跳闸端子输入，而手动合闸及保护合闸则不加区分，合为一种合闸端子输入。

2. 定时限过电流保护

RCS-9612AⅡ型微机线路保护测控装置设三段定时限过电流保护，每段均可通过控制字选择经方向或经低电压闭锁，各段电流及时间定值可独立整定，分别设置整定控制字控制这三段保护的投退。专门设置一段加速段电流保护，在手合或重合闸后投入 3s，而不是选择加速Ⅰ段、Ⅱ段、Ⅲ段。加速段的电流及时间可独立整定，并可通过控制字选择是前加速或是后加速。方向元件采用正序电压极化，方向元件和电流元件接成按相启动方式。方向元件带有记忆功能以消除近处三相短路时方向元件的死区。

3. TV 断线检查

该装置具有 TV 断线检查功能，可通过控制字投退。装置检测母线电压异常时报 PT 断线，待电压恢复正常后保护也自动恢复正常。

如果重合闸选择检同期或检无压方式，则线路电压异常时发出告警信号，并闭锁自动重合闸，待线路电压恢复正常时保护也自动恢复正常。

4. 重合闸

重合闸起动方式有两种：不对应起动和保护起动。当重合闸不投时可选择整定控制字退出，通过整定控制字选择是检同期，检无压，还是不检。检同期，无压用的线路电压可以是额定 100V 或 57.7V，可通过整定控制字选择。线路电压的相位由装置正常运行时自动识别，无特殊要求不需整定，只需将线路电压接入即可。重合闸必须在充电完成后投入，线路在正常运行状态（KKJ = 1，TWJ = 0），无外部闭锁重合信号，经 15s 充电完成。重合闭锁信号有：①手跳（KKJ = 0）；②低周动作；③外部端子闭锁输入；④遥控跳闸；⑤控制回路断线；⑥弹簧未储能接点输入。

5. 低周减载

该装置配有低电压闭锁及滑差闭锁功能。当装置投入工作时频率必须在 50 ± 0.5Hz 范围内，低周保护才允许投入。当系统发生故障，频率下降过快超过滑差闭锁定值时瞬时闭锁低周保护。另外线路如果不在运行状态，则低周保护自动退出。

低周保护动作同时闭锁线路重合闸。

6. 接地保护

由于装置应用于不接地或小电流接地系统，在系统中发生接地故障时，其接地故障点零序电流基本为电容电流，且幅值很小，用零序过电流继电器来保护接地故障很难保证其选择性。在该装置中接地保护实现时，由于各装置通过网络互联，信息可以共享，故采用上位机比较同一母线上各线路零序电流基波或五次谐波幅值和方向的方法来判断接地线路，并通过网络下达接地试跳命令来进一步确定接地线路。

在经小电阻接地系统中，接地零序电流相对较大，故采用直接跳闸方法，装置中设一段零序过电流继电器（“零序过电流投入”整定控制字整定“0”时只报警，整定为“1”时跳闸）。

当然在某些不接地系统中，电缆出线较多，电容电流较大，也可采用零序电流继电器直

接跳闸方式。

7. 装置闭锁和运行异常告警

当装置检测到本身硬件故障时，发出装置故障闭锁信号（BSJ 继电器返回），同时闭锁整套保护。硬件故障包括 RAM 出错、EPROM 出错、定值出错、电源故障。

当装置检测到下列件状况时，发出运行异常信号（BJJ 继电器动作）：①线路电压报警；②PT 断线；③频率异常；④CT 断线；⑤TWJ 异常；⑥控制回路断线；⑦弹簧未储能；⑧零序电流报警；⑨接地报警。

8. 遥信、遥测、遥控功能

遥控功能主要有三种：正常遥控跳闸操作，正常遥控合闸操作，接地选线遥控跳闸操作。

遥测量主要有：I、U、$\cos\phi$、F、P、Q 和有功电能、无功电能及脉冲总电能。所有这些量都在当地实时计算，实时累加，三相有功无功的计算消除了由于系统电压不对称而产生的误差，且计算完全不依赖于网络，准确度达到 0.5 级。

遥信量主要有：9 路遥信开入、装置变位遥信及事故遥信，并作事件顺序记录，遥信分辨率小于 2ms。

9. 对时功能

装置具备软件或硬件脉冲对时功能。

六、安装接线

10kV 进线开关柜上的设备见表 13-4。

表 13-4　10kV 进线开关柜上的设备

序号	代　　号	名　　称	型号规格	数量
1	In	微机线路保护测控装置	RCS—9612AII	1
2	QK1、QK2	断路器	5SX5　3A/2P	2
3	QK	断路器	5SX2　3A/2P	1
4	PA	电流表	42L6A　400/5	1
5	1XB1～5	连接片	YY1—D1—4	5
6	QK	切换开关	LW12—16D/49，4021，3	1
7	KA	中间继电器	DZY—204 220V	1

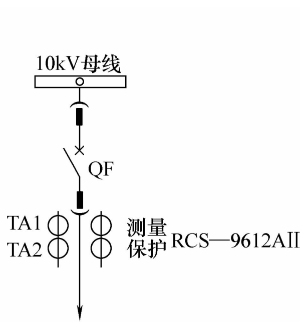
配电所 10kV 电源进线选用 RCS-9612Ⅱ型微机线路保护测控装置时，安装接线原理如图 13-13 所示，QK 触头位置见表 13-5。

表 13-5　QK 触头位置表（LW12—16D/49.4021.3）

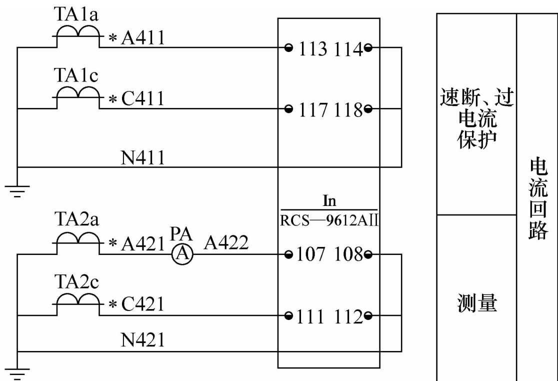
运行方式 \ 触头		1－2	3－4	5－6 7－8	9－10	11－12
跳闸	←	——	——	——	——	×
就地	↖	——	——	——	×	——

（续）

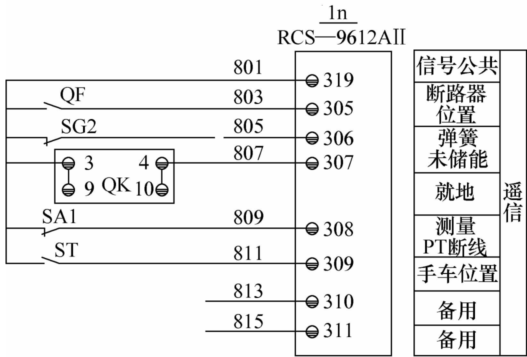
运行方式 \ 触头		1－2	3－4	5－6 7－8	9－10	11－12
远控	↑	——	——	×	——	——
就地	↗	——	×	——	——	——
合闸	→	×	——	——	——	——



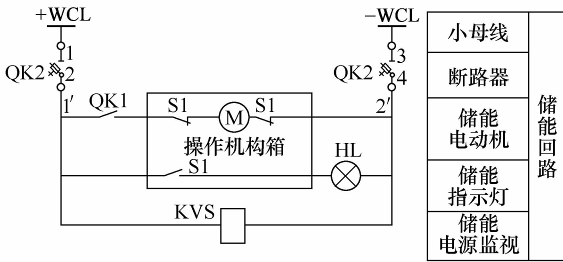
a)



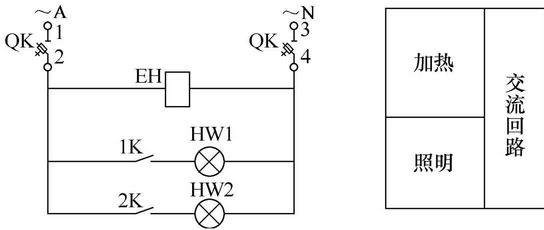
b)



c)



d)



e)

图 13-13　配电所 10kV 电源进线保护及控制信号回路

a）电气主接线　b）电流回路　c）遥信回路　d）储能回路　e）交流回路

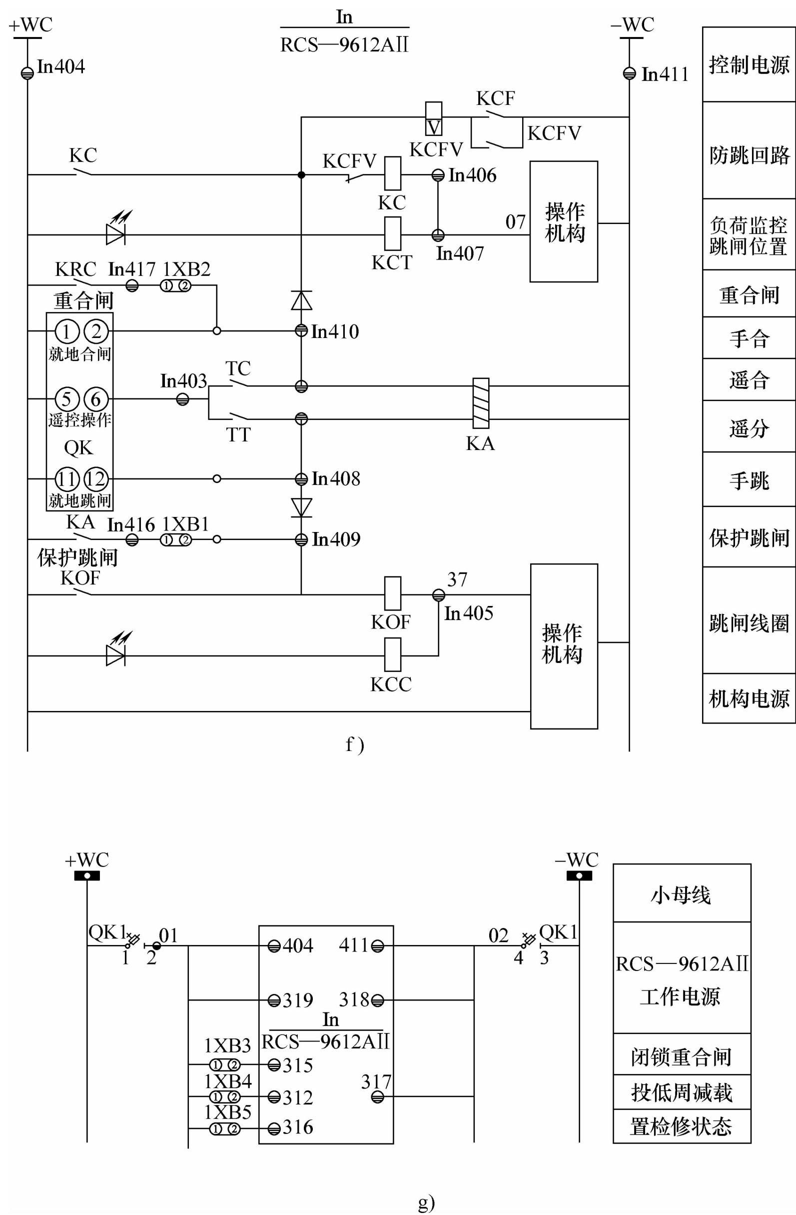


图 13-13 配电所 10kV 电源进线保护及控制信号回路（续）

f）RCS-9612AⅡ微机线路保护测控装置控制回路 g）工作电源

RCS-9612AⅡ型微机线路保护测控装置背板接线端子如图 13-14 所示。

七、装置定值整定

1. 装置参数整定（见表 13-6）

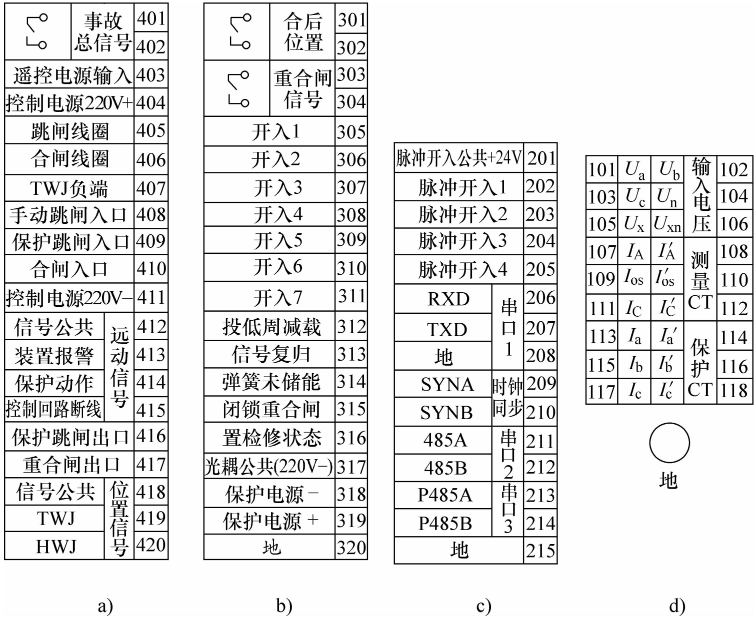


图 13-14　RCS-9612AⅡ型背板接线端子

a）输出（OUT）接线　b）直流（DC）接线　c）管理软件（CPU）接线　d）交流（AC）接线

表 13-6　装置参数整定

序号	名　　称	范　　围	备注
1	保护定值区号	0～13	
2	装置地址	0～240	
3	规约	1：LPF 规约，0：DL/T667—1999（IEC60870—5-103）规约	
4	串口 A 波特率	0：4800，1：9600 2：19200，3：38400	
5	串口 B 波特率		
6	打印波特率		
7	打印方式	0 为就地打印；1 为网络打印	
8	口令	00～99	
9	遥信确认时间 1	开入 1、2 遥信确认时间（ms）	
10	遥信确认时间 2	其余开入量遥信确认时间（ms）	
11	电流额定一次值		
12	电流额定二次值		
13	零序电流额定一次		
14	零序电流额定二次		
15	电压额定一次值		
16	电压额定二次值		
17	零序跳闸电流自产	“0”为外加　“1”为自产	
18	中性点接地方式	“0”为中性点不接地系统　“1”为小电阻接地系统	

2. 装置定值整定（见表 13-7）

表 13-7　装置定值整定

序号	定值名称	定值	整定范围	整定步长	
1	Ⅰ段过电流	I1zd	$0.1I_n$ ~ $20I_n$	0.01A	
2	Ⅱ段过电流	I2zd	$0.1I_n$ ~ $20I_n$	0.01A	
3	Ⅲ段过电流	I3zd	$0.1I_n$ ~ $20I_n$	0.01A	投反时限时范围为 0.1 ~ $3I_n$
4	过电流保护低压闭锁定值	U1zd	2 ~ 100V	0.1V	
5	过电流加速段定值	Ijszd	$0.1I_n$ ~ $20I_n$	0.01A	
6	过负荷保护定值	Igfhzd	$0.1I_n$ ~ $3I_n$	0.01A	
7	零序Ⅰ段过电流段	I01zd	$0.1I_n$ ~ $20I_n$	0.01A	用外加零序电流时为 0.02 ~ 15A
8	零序Ⅱ段过电流段	I02zd	$0.1I_n$ ~ $20I_n$	0.01A	用外加零序电流时为 0.02 ~ 15A
9	零序Ⅲ段过电流段	I03zd	$0.1I_n$ ~ $20I_n$	0.01A	用外加零序电流时为 0.02 ~ 15A
10	零序过电流加速段	I0jszd	$0.1I_n$ ~ $20I_n$	0.01A	用外加零序电流时为 0.02 ~ 15A
11	低周保护低频整定	Flzd	45 ~ 50Hz	0.01Hz	
12	低周保护低压闭锁	Ulfzd	10 ~ 90V	0.01V	
13	df/dt 闭锁整定	DFzd	0.3 ~ 10Hz/s	0.01Hz/s	
14	重合闸同期角	DGch	0 ~ 90°	1°	
15	过电流Ⅰ段时间	T1	0 ~ 100s	0.01s	
16	过电流Ⅱ段时间	T2	0 ~ 100s	0.01s	
17	过电流Ⅲ段时间	T3	0 ~ 100s	0.01s	投反时限时范围为 0 ~ 1s
18	过电流加速段时间	Tjs	0 ~ 100s	0.01s	
19	过负荷保护时间	Tgfh	0 ~ 100s	0.01s	
20	零序过电流Ⅰ段时间	T01	0 ~ 100s	0.01s	
21	零序过电流Ⅱ段时间	T02	0 ~ 100s	0.01s	
22	零序过电流Ⅲ段时间	T03	0 ~ 100s	0.01s	
23	零序过电流加速时间	T0js	0 ~ 100s	0.01s	
24	低频保护时间	Tf	0 ~ 100s	0.01s	
25	重合闸时间	Tch	0 ~ 9.9s	0.01s	
26	二次重合闸时间	Tch2	0 ~ 9.9s	0.01s	
27	反时限特性	FSXTX	1 ~ 3	1	

控制字含义见表 13-8，控制字位置“1”相应功能投入，置“0”相应功能退出。

表 13-8　控制字含义

序号	名　　称	符号	控制字	备　　注
1	过电流Ⅰ段投入	GL1	0/1	
2	过电流Ⅱ段投入	GL2	0/1	
3	过电流Ⅲ段投入	GL3	0/1	
4	反时限投入	FSX	0/1	

（续）

序号	名　　称	符号	控制字	备　　注
5	过电流Ⅰ段经低压闭锁	UBL1	0/1	
6	过电流Ⅱ段经低压闭锁	UBL2	0/1	
7	过电流Ⅲ段经低压闭锁	UBL3	0/1	
8	过电流Ⅰ段经方向闭锁	FBL1	0/1	
9	过电流Ⅱ段经方向闭锁	FBL2	0/1	
10	过电流Ⅲ段经方向闭锁	FBL3	0/1	
11	过电流加速段投入	GLjs	0/1	
12	零序过电流加速段投入	L0js	0/1	
13	投前加速	QJS	0/1	
14	过负荷保护投入	GFH	0/1	“1”跳闸“0”报警
15	零序过电流Ⅰ段投入	L01	0/1	
16	零序过电流Ⅱ段投入	L02	0/1	
17	零序过电流Ⅲ段投入	L03	0/1	“1”跳闸“0”报警
18	零序过电流Ⅰ段经方向闭锁	FBL01	0/1	
19	零序过电流Ⅱ段经方向闭锁	FBL02	0/1	
20	零序过电流Ⅲ段经方向闭锁	FBL03	0/1	
21	低周保护投入	LF	0/1	
22	df/dt 闭锁投入	DF	0/1	
23	重合闸投入	CH	0/1	
24	重合闸不检	BJ	0/1	
25	重合闸检同期	JTQ	0/1	
26	重合闸检无压	JWY	0/1	
27	二次重合闸投入	CH2	0/1	
28	线路电压额定 100V	UXE	0/1	
29	PT 断线检查	PTDX	0/1	
30	PT 断线时退出与电压有关的电流保护	TUL	0/1	

第七节　RCS-9621A 型配电变压器保护测控装置

一、概述

RCS-9621A 为用于 3 ~ 10kV 电压等级小电流接地系统或小电阻接地系统中所用变压器或接地变压器的保护测控装置。

二、主要保护功能

1）三段复合电压闭锁过电流保护。

2）高压侧正序反时限保护。

3）过负荷报警。

4）两段定时限负序过电流保护，其中Ⅰ段用作断相保护，Ⅱ段用作不平衡保护。

5）高压侧接地保护：三段定时限零序过电流保护（其中零序Ⅰ段两时限，零序Ⅲ段可整定为报警或跳闸）；零序过电压保护；支持网络小电流接地选线。

6）低压侧接地保护：三段定时限零序过电流保护，零序反时限保护。

7）低电压保护。

8）非电量保护：重瓦斯跳闸，轻瓦斯报警，超温报警或跳闸，压力释放跳闸，一路备用非电量报警或跳闸。

9）独立的操作回路及故障录波。

由于本装置应用范围比较广，故交流输入、保护出口、报警出口、反时限特性与非电量继电器参数等均可灵活组态与设定。

三、主要测控功能

1）开关位置、弹簧未储能接点、重瓦斯、轻瓦斯、油温高、压力释放等非电量遥信开入，4 路备用遥信开入采集，装置遥信变位以及事故遥信。

2）变压器高压侧断路器正常遥控分合、小电流接地探测遥控分合。

3）I_A、I_C、I_0、U_{AB}、U_{BC}、U_{CA}、P、Q、$\cos\phi$、F 等模拟量的遥测。

4）开关事故分合次数统计及事件 SOE 等。

5）4 路脉冲输入。

四、技术参数

RCS-9621A 型配电变压器保护测控装置的技术参数见表 13-9。

表 13-9　RCS-9621A 型配电变压器保护测控装置技术参数

序号	名　　称	技　术　参　数
1	额定直流电源/V	220，110（允许偏差 +15%，-20%）
2	额定交流电压/V	$100/\sqrt{3}$
3	额定交流电流/A	5，1
4	额定频率/Hz	50
5	过电流保护电流定值/A	$0.1I_n \sim 20I_n$
6	高压侧零序保护电流定值/A	0.02 ~ 15
7	低压侧零序保护电流定值/A	$0.1I_n \sim 20I_n$
8	低电压保护电压定值/V	2 ~ 100
9	时间定值/s	0 ~ 100
10	电流电压定值误差/%	<5
11	时间定值误差	<0.1% 整定值 +35ms
12	遥测量计量等级	电流　0.2 级
		其他　0.5 级
13	遥信分辨率/ms	<1
14	信号输入方式	无源接点

五、保护测控功能原理

1. 模拟量输入

外部电流及电压输入经隔离互感器隔离变换后由低通滤波器输入至模数变换器，CPU经采样数字处理后，构成各种保护继电器，并计算各种遥测量。

Ia、Ib、Ic 为过电流保护用模拟量输入，建议采用三相三元件方式，IA、IC 为测量用专用 CT 输入。

Ios 为高压侧零序电流输入，在用于小电阻接地系统中时，零序电流输入构成零序保护的Ⅰ段、Ⅱ段、Ⅲ段（Ⅲ段可整定为报警），当用于小电流接地系统中时，零序输入除可用作零序过电流报警外，也同时兼作小电流接地选线用输入，零序电流的接入最好用套管零序电流互感器接入，若无套管零序电流互感器，在保证零序电流能满足小电流接地系统保护选择性要求前提下用三相电流之和即 CT 的中性线电流。

IoL 为低压侧零序电流输入，可取自所用变低压侧 CT 中性线电流或套管零序 CT 电流以构成低压侧零序保护的Ⅰ段、Ⅱ段、Ⅲ段。

Ua、Ub、Uc 输入在本装置中作为低电压保护用与小电流接地选线用，同时也与 IA、IC 一起计算形成本变压器的 P、Q、cosϕ、Kwh、Kvarh。在 UA、UB、UC 不接入本装置时，请将低电压保护投入与 PT 断线检测控制字退出。

对所用变低压侧测量由所用变测量装置测量（RCS-9602 测控装置）完成。

2. 定时限过电流保护

本装置设三段定时限过电流保护，各段电流及时间定值可独立整定，分别设置三个整定控制字控制这三段保护的投退。三段可分别通过控制字选择经过或不经过复合电压闭锁。复合电压闭锁的负序电压与低电压闭锁定值均可独立整定。

3. 高压侧正序反时限保护

本装置将高压侧 A、B、C 三相电流或 A、C 相电流经正序电流滤过器滤出正序电流，作为反时限保护的动作量。本装置共集成了 4 种特性的正序反时限保护，用户可根据需要选择任何一种特性的正序反时限保护。正序反时限保护特性在“装置组态-继电器参数”菜单中整定。

由于正序电流的计算方法与电流互感器配置方式有关，故对于只装 A、C 相电流互感器的情况，在“装置组态-交流输入组态”菜单中两相式保护 CT 必须整定为“1”。

4. 过负荷报警

5. 两段定时限负序过电流保护

其中Ⅰ段用作断相保护，Ⅱ段用作不平衡保护。

由于负序电流的计算方法与电流互感器有关，故对于只装 A、C 相电流互感器的情况，在“装置组态-交流输入组态”菜单中两相式保护 CT 必须整定为“1”。

6. 高压侧接地保护

本装置应用于不接地或小电流接地系统中，在系统中发生接地故障时，其接地故障点零序电流基本为电容电流，且幅值很小，用零序过电流继电器来检测接地故障很难保证其选择性。由于各装置通过网络互联，信息可以共享，故 RCS-9000 综合自动化系统采用网络小电流接地选线的方法来获得接地间隔，并通过网络下达接地试跳命令来进一步确定接地间隔。

零序过电压保护可通过控制字选择投报警或跳闸，零序过电压跳闸经 TWJ 位置闭锁。本装置由于交流输入路数的限制，零序过电压保护用电压由装置内部对三相电压矢量相加得到。

如果使用网络接地选线功能，则必须投入零序过电压报警以发出接地报警信号，并整定零序过电压保护的相应定值。

在经小电阻接地系统中，接地零序电流相对较大，故采用直接跳闸方法，装置中设置三段零序过电流保护来作为母线接地故障的后备保护，其中零序过电流Ⅰ段设置两段时限，零序过电流Ⅲ段可整定为报警或跳闸。

7. 低压侧接地保护

装置中设置三段零序过电流保护与零序反时限保护来作为低压侧接地保护。

本装置共集成了4种特性的零序反时限保护，用户可根据需要选择任何一种特性的零序反时限保护。零序反时限保护特性在“装置组态-继电器参数”菜单中整定。

8. 低电压保护

三个相间电压均小于低电压保护定值，时间超过整定时间时，低电压保护动作。低电压保护经TWJ位置闭锁。装置能自动识别三相PT断线，并及时闭锁低电压保护。

9. 非电量保护

本装置设置了重瓦斯跳闸、轻瓦斯报警、超温报警或跳闸、压力释放跳闸、一路备用非电量报警或跳闸。其中重瓦斯跳闸、压力释放跳闸分别通过控制字ZWS、YLSF选择投退；轻瓦斯报警功能固定投入；超温报警或跳闸可通过控制字CWTZ来选择；一路备用非电量经延时报警或跳闸也可通过控制字FDL来选择。备用非电量报警或跳闸的最长延时可达5000s。

10. 装置告警

当CPU检测到本身硬件故障时，发出装置报警信号（同时端子412～413输出接点信号），同时闭锁整套保护。硬件故障包括：RAM出错，EPROM出错，定值出错，电源故障等。

当装置检测出如下问题，将发出运行异常报警信号（用户可灵活组态，一般情况下端子412～413同时输出接点信号）：

1）弹簧未储能；

2）PT断线报警；

3）控制回路断线（同时端子412～415输出接点信号）；

4）TWJ异常；

5）频率异常；

6）零序过电流报警；

7）过负荷报警；

8）接地报警（零序过电压报警）；

9）轻瓦斯报警；

10）超温报警；

11）备用非电量报警。

11. 遥信、遥测、遥控功能

遥控功能主要有三种：正常遥控跳闸操作，正常遥控合闸操作，接地选线遥控跳闸操作。

遥测量主要有I_A、I_C、I_0、U_{AB}、U_{BC}、U_{CA}、P、Q、$\cos\phi$、F和有功电能、无功电能及

脉冲总电能。所有这些量都在当地实时计算，实时累加，且计算完全不依赖于网络，精度达到 0.5 级。

遥信量主要有开关位置、弹簧未储能接点、重瓦斯、轻瓦斯、油温、压力释放等非电量遥信开入，4 路备用遥信开入采集，装置遥信变位以及事故遥信，并作事件顺序记录，遥信分辨率小于 1ms。

12. 对时功能

本装置具备软件或硬件脉冲对时功能。

六、安装接线

10kV 配电变压器出线开关柜上的设备见表 13-10。

表 13-10　10kV 配电变压器出线开关柜上的设备

序号	代　号	名　称	型 号 规 格	数量
1	In	微机变压器出线保护测控装置	RCS-9621AⅡ	1
2	QK1、QK2	断路器	5SX5　3A/2P	2
3	QK	断路器	5SX2　3A/2P	1
4	PA	电流表	42L6A　400/5	1
5	1XB1～5	连接片	YY1—D1—4	5
6	QK	切换开关	LW12—16D/49，4021，3	1
7	KA	中间继电器	DZY—204 220V	1

配电所 10kV 配电变压器出线选用 RCS-9621AⅡ型微机保护及控制信号回路如图 13-15 所示。QK 触头位置见表 13-11。

表 13-11　QK 触头位置表（LW12-16D/49.4021.3）

运行方式＼触头		1－2	3－4	5－6 7－8	9－10	11－12
跳闸	←	——	——	——	——	×
就地	↖	——	——	——	×	——
远控	↑	——	——	×	——	——
就地	↗	——	×	——	——	——
合闸	→	×	——	——	——	——

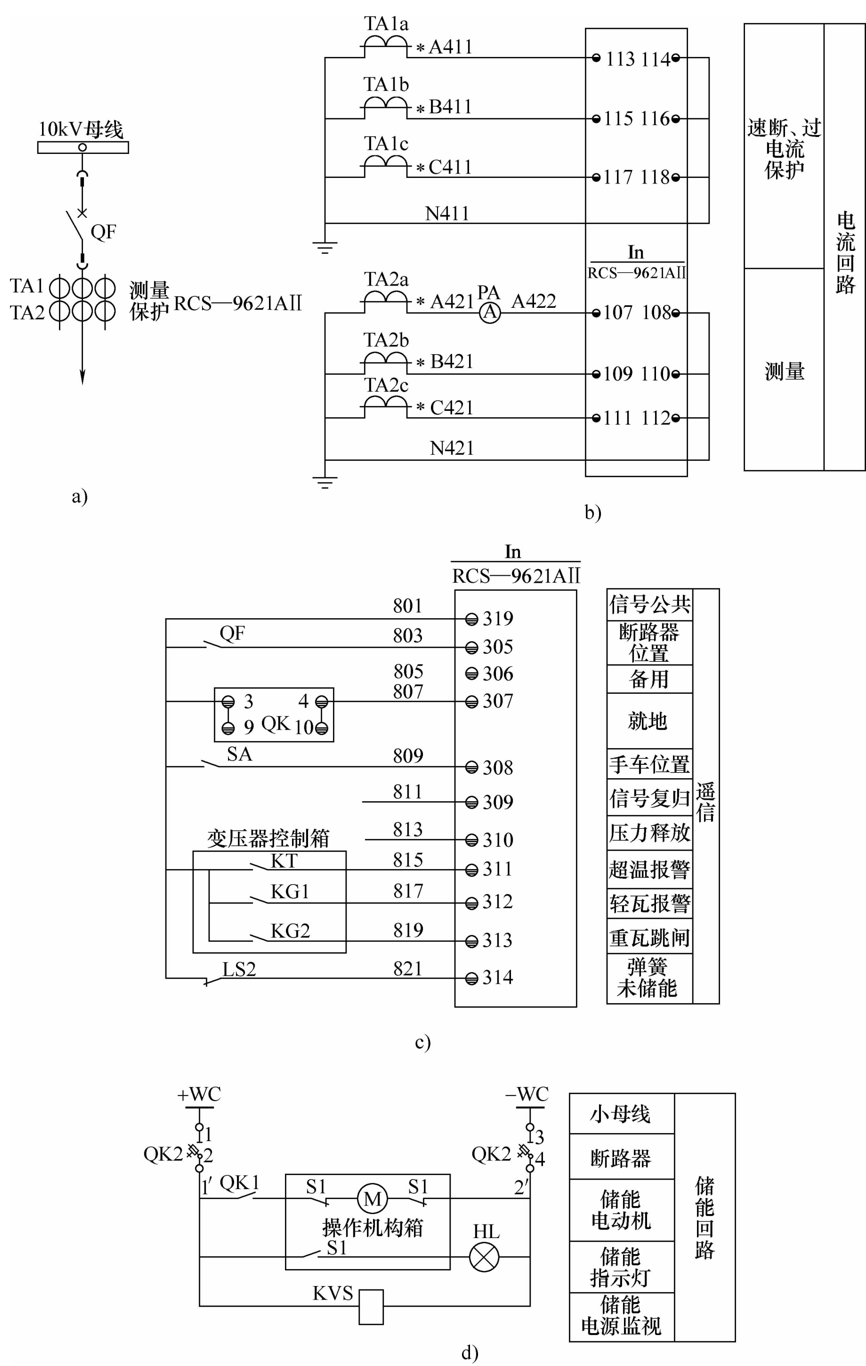


图 13-15　配电所 10kV 配电变压器出线保护及控制信号回路

a）电气主接线　b）电流回路　c）遥信回路　d）储能回路

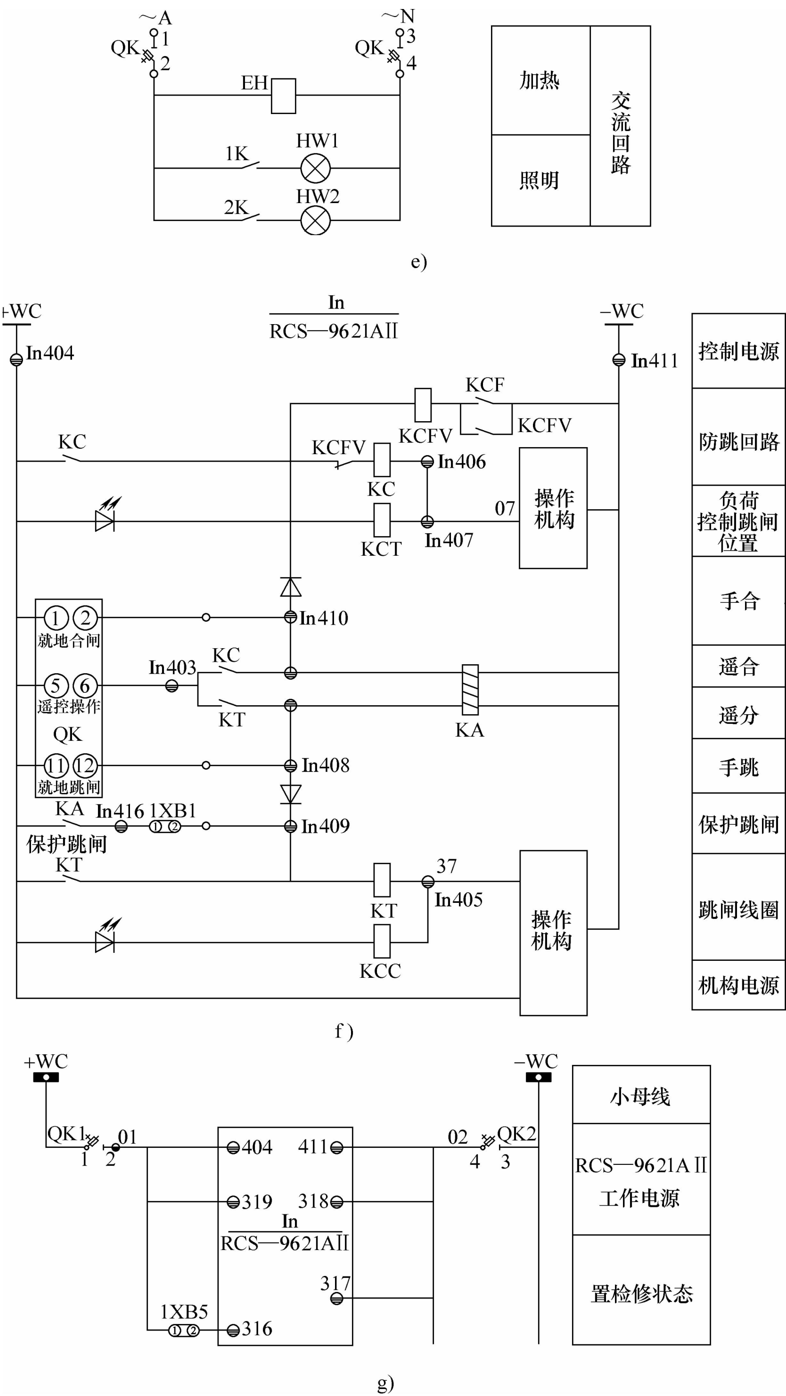


图 13-15　配电所 10kV 配电变压器出线保护及控制信号回路（续）

e）交流回路　f）RCS-9621AⅡ型微机保护控制回路　g）工作电源

RCS-9621A 背板端子接线如图 13-16 所示。

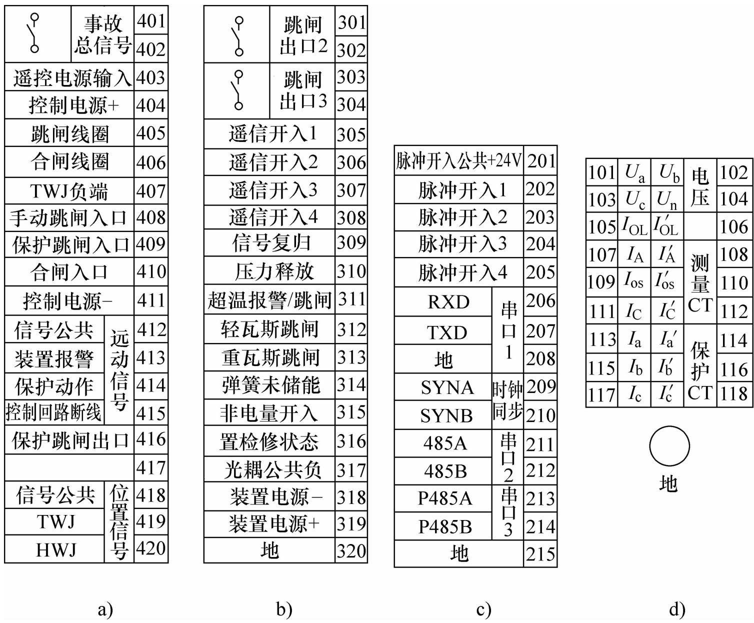


图 13-16 RCS-9621A 背板端子接线

a）输出（OUT）接线 b）直流（DC）接线 c）管理软件（CPU）接线 d）交流（AC）接线

七、装置定值整定

1. 装置参数整定（见表 13-12）

表 13-12 装置参数整定

序号	名 称	范 围	备 注
1	保护定值区号	0～13	
2	装置地址	0～240	
3	规约	1：LFP 规约，0：DL/T667—1999（IEC60870-5-103）规约	
4	串口 A 波特率	0：4800，1：9600 2：19200，3：38400	
5	串口 B 波特率		
6	打印波特率		
7	打印方式	0 为就地打印；1 为网络打印	
8	口令	00～999	
9	遥信确认时间 1	开入 1、2 遥信确认时间（ms）	出厂设置：20ms
10	遥信确认时间 2	其余开入量遥信确认时间（ms）	出厂设置：20ms
11	CT 额定一次值	单位：A	
12	CT 额定二次值	单位：A	
13	零序 CT 额定一次值	单位：A	
14	零序 CT 额定二次值	单位：A	
15	PT 额定一次值	单位：kV	

（续）

序号	名　　称	范　　围	备　　注
16	PT 额定二次值	单位：V	
17	低压侧零流额定一次值	单位：A	
18	低压侧零流额定二次值	单位：A	
19	主画面显示一次值	0：主画面显示二次值；1：主画面显示一次值	

注意：装置参数菜单中各项必须整定，整定完毕后必须复位装置或退到装置主画面让装置自动复位。

2. 装置保护定值整定（见表 13-13）

表 13-13　装置保护定值整定

序号	定　值　名　称	符号	整定范围	整定	备　　注
1	负序电压闭锁定值	U2zd	0 ~ 57V	0.01V	
2	低电压闭锁定值	ULzd	2 ~ 120V	0.01V	线电压（100V）
3	过电流Ⅰ段定值	Izd1	$0.1I_n \sim 20I_n$	0.01A	
4	过电流Ⅱ段定值	Izd2	$0.1I_n \sim 20I_n$	0.01A	
5	过电流Ⅲ段定值	Izd3	$0.1I_n \sim 20I_n$	0.01A	
6	正序反时限保护基准值	Ifzd	$0.1I_n \sim 3I_n$	0.01A	
7	过负荷报警定值	Igfh	$0.1I_n \sim 3I_n$	0.01A	
8	负序过电流Ⅰ段定值	I2zd1	$0.1I_n \sim 20I_n$	0.01A	
9	负序过电流Ⅱ段定值	I2zd2	$0.1I_n \sim 20I_n$	0.01A	
10	零序过电流Ⅰ段定值	I0zd1	0.02 ~ 15A	0.01A	
11	零序过电流Ⅱ段定值	I0zd2	0.02 ~ 15A	0.01A	
12	零序过电流Ⅲ段定值	I0zd3	0.02 ~ 15A	0.01A	
13	零序过电压定值	U0zd	2 ~ 160V	0.01V	
14	低压侧零序过电流Ⅰ段定值	I0Lzd1	$0.1I_n \sim 20I_n$	0.01A	
15	低压侧零序过电流Ⅱ段定值	I0Lzd2	$0.1I_n \sim 20I_n$	0.01A	
16	低压侧零序过电流Ⅲ段定值	I0Lzd3	$0.1I_n \sim 20I_n$	0.01A	
17	低压侧零序反时限保护基准值	I0Lfzd	$0.1I_n \sim 2I_n$	0.01A	
18	低电压保护定值	Udyzd	2 ~ 100V	0.01V	
19	过电流Ⅰ段时间	Tzd1	0 ~ 100s	0.01s	
20	过电流Ⅱ段时间	Tzd2	0 ~ 100s	0.01s	
21	过电流Ⅲ段时间	Tzd3	0 ~ 100s	0.01s	
22	正序反时限保护时间常数	TFzd	0 ~ 3000s	0.1s	特性 2，3，4 范围为 0 ~ 1
23	过负荷报警时间	Tgfh	0 ~ 100s	0.01s	
24	负序过电流Ⅰ段时间	T2zd1	0.05 ~ 100s	0.01s	
25	负序过电流Ⅱ段时间	T2zd2	0.05 ~ 100s	0.01s	
26	零序过电流Ⅰ段第一时限	T0zd11	0 ~ 100s	0.01s	

（续）

序号	定　值　名　称	符号	整定范围	整定	备　　注
27	零序过电流Ⅰ段第二时限	T0zd12	0～100s	0.01s	
28	零序过电流Ⅱ段时间	T0zd2	0～100s	0.01s	
29	零序过电流Ⅲ段时间	T0zd3	0～100s	0.01s	
30	零序过电压保护时间	TU0zd	0～100s	0.01s	
31	低压侧零序过电流Ⅰ段时间	T0Lzd1	0～100s	0.01s	
32	低压侧零序过电流Ⅱ段时间	T0Lzd2	0～100s	0.01s	
33	低压侧零序过电流Ⅲ段时间	T0Lzd3	0～100s	0.01s	
34	低压侧零序反时限保护时间常数	T0LFzd	0～100s	0.01s	特性2，3，4范围为0～1
35	低电压保护时间	Tdyzd	0～100s	0.01s	
36	非电量备用报警/跳闸时间	Tfd1	0～5000s	0.1s	

3. 控制字含义

装置控制字含义见表13-14。控制字位无特殊说明时，置“1”表示相应功能投入，置“0”表示相应功能退出。

表13-14　装置控制字含义

序号	名　　称	符号	控制字	备　　注
1	过电流Ⅰ段投入	GL1	0/1	
2	过电流Ⅱ段投入	GL2	0/1	
3	过电流Ⅲ段投入	GL3	0/1	
4	过电流Ⅰ段经复压闭锁	UBL1	0/1	
5	过电流Ⅱ段经复压闭锁	UBL2	0/1	
6	过电流Ⅲ段经复压闭锁	UBL3	0/1	
7	正序反时限保护	I1FSX	0/1	
8	过负荷报警	GFH	0/1	
9	负序过电流Ⅰ段投入	FGL1	0/1	
10	负序过电流Ⅱ段投入	FGL2	0/1	
11	零序过电流Ⅰ段第一时限投入	I011	0/1	
12	零序过电流Ⅰ段第二时限投入	I012	0/1	
13	零序过电流Ⅱ段投入	I02	0/1	
14	零序过电流Ⅲ段跳闸投入	I03	0/1	0：报警，1：跳闸
15	零序过电压跳闸投入	U0	0/1	0：报警，1：跳闸
16	低压侧零序过电流Ⅰ段投入	I0L1	0/1	
17	低压侧零序过电流Ⅱ段投入	I0L2	0/1	
18	低压侧零序过电流Ⅲ段投入	I0L3	0/1	
19	低压侧零序反时限保护投入	I0LFSX	0/1	
20	低电压保护投入	DY	0/1	

（续）

序号	名　　称	符号	控制字	备　　注
21	投重瓦斯跳闸	ZWS	0/1	
22	投超温跳闸	CWTZ	0/1	0：报警，1：跳闸
23	投压力释放跳闸	YLSF	0/1	
24	投非电量跳闸	FDL	0/1	0：报警，1：跳闸
25	PT 断线检测	PTDX	0/1	
26	PT 断线时退出与电压有关保护	PTDXBS	0/1	

第八节　RCS-9000 保护测控装置的操作

一、液晶显示

1. 正常显示格式（见图 13-17）

2. 跳闸报告显示（见图 13-18）

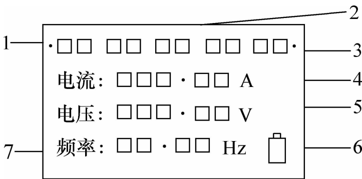


图 13-17　液晶正常显示格式

1—显示装置通信状态：“·”表示 A 口正在通信，“□”表示 B 口正在通信，“※”表示 A，B 口都在通信，无显示表示通信全部中断　2—保护实时时钟月、日、时、分、秒　3—有“·”显示时，表示装置正在对时　4—实时保护相电流平均值　5—实时线电压平均值　6—电池形图案空心时表示重合闸未充好电，实心时表示重合闸充电完毕，非线路保护此图案无用　7—系统频率显示

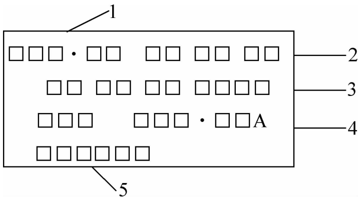


图 13-18　跳闸报告显示

1—小数点前三位为整组动作的序号，由装置启动到装置返回为一次整组动作。小数点后两位为在一次整组中各动作（返回）元件的排列次序，在跳闸报告显示中仅显示动作元件　2—动作元件的动作时刻年、月、日　3—动作元件的动作时刻时、分、秒、毫秒　4—前三个方框为故障相显示（ABC），后五个方框为最大故障相电流　5—保护动作元件，当有多个元件一起动作时第四行将自动循环显示

3. 自检报告显示（见图 13-19）

二、命令菜单

命令菜单为树形结构多级菜单，按键盘“↑”键可以进入保护装置的主菜单，用“↑”“↓”键移动光标选择相应的条目，按“确定”键可进入下一级画面，如选择“0·退出”一项按“确定”键则返回正常显示画面。如下一级画面仍为菜单选择，可继续按“↑”“↓”键选择相应的条目按“确定”键进入再下一级画面，选择“0·退出”返回上一级菜单，如无菜单选择画面必须按“取消”键返回上一级菜单。下图中间为主菜单，两边为所对应条目的子菜单。

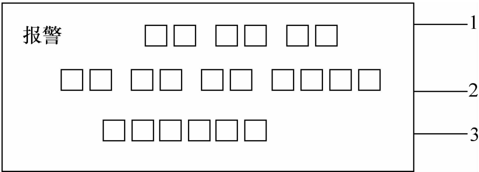


图 13-19　自检报告显示

1—自检发生的时刻年、月、日　2—自检发生时刻时、分、秒、毫秒　3—自检故障内容

1. 主菜单

（1）装置定值菜单选择

1）保护定值；

2）装置参数；

3）准确度自动调整；

4）准确度手动调整；

5）电度清零；

6）退出。

（2）报告打印

（3）状态显示菜单选择

1）采样值显示；

2）相角显示；

3）开关量显示；

4）遥测量显示；

5）退出。

（4）时间显示

时间设置日期：□□ □□ □□，时间：□□ □□ □□。

（5）报告显示

1）跳闸报告；

2）遥信量报告；

3）远方命令；

4）开关分闸次数；

5）退出。

（6）报告清除菜单选择，报告已清除。

（7）校验码显示

校验码显示如图 13-20 所示。

（8）退出。

2. 保护定值整定

（1）液晶显示保护定值如图 13-21 所示。

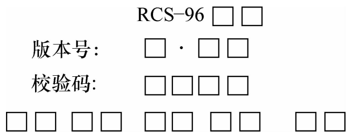


图 13-20　校验码显示

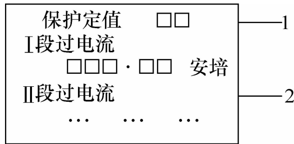


图 13-21　液晶显示保护定值

1—保护定值区号　2—保护定值

按“确定”键出现右面的菜单，用↑、↓、←、→键可以将光标移动到所需要整定的位置，通过＋、－键可对光标所在位置上的数字由“1、2、3……9、·、0”变化以达到所需的值。当全部的定值整定完毕按“确定”键可将定值固化，同时运行灯熄灭保护闭锁，

必须按“复位”键保护才会工作在新的定值下。（注意先要整定定值区号）整定完如按“取消”则取消定值的修改返回上一级菜单。

（2）保护定值整定注意事项

1）当某项定值不用时，避免整定值为 0，如是过量继电器则整定为上限值，如是欠量继电器则整定为下限值，时间整定为 10s，功能控制字退出。

2）速断保护、过电流加速保护时间一般需整定几十到一百毫秒的延时，由于微机保护没有过去常规保护中一百毫秒的继电器动作延时，所以整定成 0s 时可能躲不过合闸时的励磁涌流。

3）在整定定值前必须先整定保护定值区号。

4）过负荷保护、低频保护跳闸均闭锁重合闸。

3. 装置参数整定

装置参数液晶显示如图 13-22 所示。

装置参数整定修改，参考上述保护定值整定。

4. 准确度自动调整

5. 准确度手动调整

6. 电度清零

以上三项功能为装置调较采样准确度及复位脉冲电度记数时所用，由于装置出厂时已经进行过调整，所以建议用户不要使用此功能，如用户确有必要，请与厂方联系或请调试人员配合。

7. 定值打印

按“确定”可打印保护的整定值。

8. 跳闸报告打印

按“确定”可打印保护的故障跳闸报告。

9. 装置状态打印。按“确定”可打印保护装置的当前状态。

10. 采样值显示

按“确定”可出现菜单显示，如图 13-23 所示。

11. 相角显示（部分型号无此菜单）

按“确定”键可出现菜单显示，如图 13-24 所示。

此菜单是用来检查外部电缆极性的，做实验和正常运行时检查外部电流和电压向量关系。

图 13-22　装置参数液晶显示

1—保护装置可以预先设定 00～13 14 套定值，在整定定值前必须先整定保护定值区号　2—装置通信地址 000～240 用于自动化站，同时也是网络接点号，在自动化站中所有的装置地址编号必须唯一，不能有重复　3—装置通信规约选择：0：IEC60870-5-103 规约 1：LFP 规约　4—串口 A，B 波特率选择，打印波特率选择：0：4800bit/s，1：9600bit/s，2：19200bit/s，3：38400bit/s　5—“0”为就地打印，“1”为网络打印　6—设置装置管理口令，出厂时整定为“1”　7—开入 1、2 开入确认时间　8—其他开入确认时间　9—设定线路一次电流额定值　10—设定线路二次电流额定值　11—设定线路一次零序电流额定值　12—设定线路二次零序电流额定值　13—设定线路一次电压额定值　14—设定线路二次电压额定值

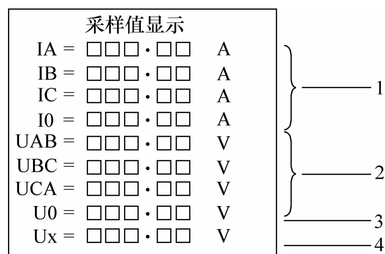


图 13-23　采样值显示

1—保护 TA 二次采样值　2—保护 TV 二次采样值

3—保护计算出的零序电压　4—TV 电压

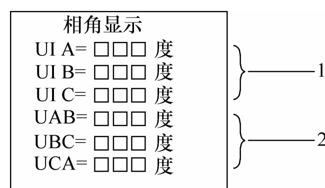


图 13-24　相角显示

1—电压与保护 TA 二次采样值之间的角度

2—三相电压两两之间的角度，正常时应为 120°

12. 开关量显示

按“确定”可出现菜单显示如图 13-25 所示。当开关量有输入时为“1”，没有输入时为“0”。

13. 遥测量显示

按“确定”键可出现菜单显示遥测量，如图 13-26 所示。

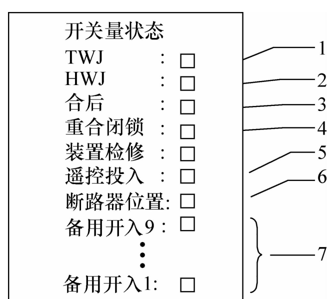


图 13-25　开关量状态显示

1—跳闸位置继电器，当为“1”时表示开关在跳位　2—合闸位置继电器，当为“1”时表示开关在合位　3—当手动分闸时为“0”，并同时对重合闸放电；手动合闸时为“1”　4—外部接点输入，为“1”时对重合闸放电　5—为“1”时表示装置处于检修状态　6—为“1”时，表示“远方/就地”把手打在“远方”位置，此时可以由后台对开关进行遥控分合，为“0”时，把手打在“就地”位置，只能就地操作开关　7—用于外部遥信信号，如线路刀闸、接地刀闸等，具体定义由监控系统来确定。9 个备用开入均为 220V（110V）开入

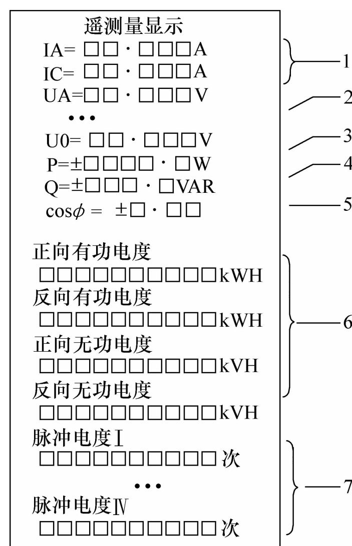


图 13-26　遥测量显示

1—测量 TA 二次采样值　2—TV 二次采样值　3—折算到 TV、TA 二次有功功率　4—折算到 TV、TA 二次无功功率　5—电压与电流夹角的余弦函数，当 $-90° < \phi < 90°$ 时 $\cos\phi$ 为正，当 $90° < \phi < 270°$ 时 $\cos\phi$ 为负　6—装置实时计算有功无功在时间上的累计，并且正向与正向，反向与反向累加　7—外部脉冲电度表脉冲输入

14. 时间设置

按“确定”键可出现菜单显示时间设置，如图 13-27 所示。

通过方向键移动光标到所需更改的位置上用“+”、“-”键改到所要的值。如为自动化站中的设备，监控系统将在几分钟内对保护装置对一次时。

时间设置
日期: □□ □□ □□
时间: □□ □□ □□

图 13-27　时间设置

15. 跳闸报告

按“确定”键出现最后一次的跳闸报告显示（一般为整组返回），如图 13-28 所示。可以通过用“↑”键找前面的报告，一共可以储存 64 次报告（一个整组中的一个元件动作为一次），当存满后新的报告将最早一次报告覆盖。

图 13-28　跳闸报告显示

1—小数点前三位为整组动作的次数，由装置启动到装置返回为一次整组动作。小数点后两位为在一次整组中各动作元件以时间排列的次序，一般 00 为装置启动，然后依次为某元件动作，可以通过用“↑”“↓”键前后查找每一个报告　2—动作元件的动作时刻年、月、日　3—动作元件的动作时刻（时、分、秒、毫秒）　4—前三个方框为故障相（ABC），后五个方框为故障时最大相电流　5—保护动作元件，当有多个元件同一时刻一起动作时第四行将自动循环显示

16. 遥信量报告

按“确认”键出现最后一次的遥信变位报告显示，其中保护动作信号也作为一个遥信信号计量：“0→1”表示元件动作，“1→0”表示元件返回，装置一共可以储存 256 次报告，可以通过用“↑”键找前面的报告，当存满后新的报告自动将最早一次报告覆盖，遥信分辨率为 2ms。

遥信量报告显示如图 13-29 所示。

以上报告显示为装置 SOE 记录储存。

17. 远方命令

按“确认”键出现最后一次的遥控报告显示，一次开关遥控分闸（合闸）分为“遥控选择”和“遥控确认”两步，可以通过用“↑”键找前面的报告，远方命令显示如图 13-30 所示。

图 13-29　遥信量报告

1—遥信变位报告序号，遥信变位时刻年、月、日　2—遥信变位时刻时、分、秒、毫秒　3—变化后状态（0 或 1）　4—变化前状态（1 或 0）　5—遥信量名称

图 13-30　远方命令显示

1—报告序号　2—接收命令时刻年、月、日　3—遥控时、分、秒、毫秒　4—报告内容：遥控选择（执行），合闸（分闸）

18. 开关分闸次数

按“确认”键将出现开关分闸次数显示，如图 13-31 所示。注意此处记录的为开关事故分闸次数。

19. 报告清除

按“确认”键将出现报告清除，如图 13-32 所示。

此菜单可以将储存在内存中的报告全部清除掉。此菜单不要轻易使用，清除的报告是无法恢复的，可能不利于故障后的事故分

开关分闸次数
□□□□

图 13-31　开关分闸次数

析。

20. 校验码显示

按“确认”键将出现校验码显示，如图 13-33 所示。



图 13-32　报告清除

图 13-33　校验码显示
1—装置型号　2—程序的版本　3—程序的机器码和的低十六位　4—程序形成的时间

第九节　DMR201P/301P 型微机保护装置

一、主要特点

1）集保护、测量、监视、控制、人机接口、通信等多种功能于一体；专门针对开关柜进行“单元化设计，一台装置即可完成开关柜内所有的自动化功能，简化了开关柜二次设计和施工，代替了各种常规继电器和测量仪表，节省了大量的安装空间和控制电流。

2）配备保护和控制可编程功能，采用电气工作人员熟悉的梯形图（LAD）编程，符合 IEC1131—3 标准；通用性强，内置保护库，用户可根据运行需要选配相应保护，减少装置类型和备品备件。

3）以 DSP 数字信号处理器为核心，具有先进内核结构、高速运算能力和实时信号处理等优良特性，过去由于 CPU 性能等因素而无法实现的保护算法可轻松实现。

4）DeviceNet（CAN）现场总线，具有出错帧自动重发和故障节点自动脱离等纠错机制，保证信息传输的实时性和可靠性。最高速率为 1Mbit/s，最长距离为 10km，一条总线最多允许挂接 110 个设备。

5）开关量输入支持直接跳闸或告警，用于瓦斯、温度等重要保护或联锁跳闸。采用可设置变位确认时间窗技术，有效消除开关触头抖动和电磁干扰，保证遥信正确率达 100%。

6）人机接口符合人机工程设计要求，超大屏幕图形液晶，菜单化设计，全中文显示。显示内容包括主接线图、测量数据、开关量状态、实时波形、事件记录、保护定值、梯形图程序和系统参数等。

7）具有事件记录功能，可记录与电力系统安全运行相关的所有事件。时间分辨率小于 1ms，可在线记录事件 100 条，掉电不丢失，便于分析故障原因和设备缺陷诊断。

8）具有故障录波功能，可真实记录故障前后的电流、电压、开关状态等信息，记录密度每周波 24 点，记录长度达 100 个周波。

9）具有多套保护定值手动和自动切换功能。装置能自动识别电气运行方式的变化，并自动切换保护定值，特别适合于无人值班和电气运行方式经常变化的场合。

二、主要功能

1）保护功能：电流速断保护（带方向闭锁和低压闭锁）、定时限过电流保护（带方向闭锁和低压闭锁）、过负荷保护、零序电流保护、过热保护、非电量保护等。与事件记录、故障录波、通信网络功能紧密配合，使继电保护技术的应用达到一个新的水平。

2）测量功能电流（I_a、I_b、I_c），测量准确度 0.2 级；电压（U_a、U_b、U_c、U_{ab}、U_{bc}、U_{ca}），测量准确度 0.2 级；频率 f，分辨率 0.02Hz；有功功率（P）、无功功率（Q）、功率因数（$\cos\varphi$），测量准确度 0.5 级；有功电量（P_h）、无功电量（Q_h），测量准确度 0.5 级；及保护相关数据等。

3）监视功能：具有断路器位置等 14 路外部无源触头信号输入，并可直接动作于跳闸或告警；采用硬件电路滤波和软件时间窗技术，清除开关节点抖动和电磁干扰等引起的遥信误变位，保证遥信正确率达 100%。

4）人机接口功能：超大屏幕图形液晶（分辨率为 320×240），菜单化设计，全中文显示。可显示主接线图、测量数据、开关量状态、实时波形、事件记录、保护定值，梯形图程序和系统参数等信息。9 个高亮度指示灯，分别表示运行、通信、自检、跳位、遥控、本地、故障、告警；6 个备用双色指示灯可由用户指定显示其他信息，如保护投退和动作指示、重合闸充电指示、备自投充电指示、变压器温度信号、瓦斯信号等。

5）通信功能：采用 DeviceNet（CAN）现场总线，保证信息传输的实时性和可靠性，最高速度达 1Mbit/s，最长距离达 10km，一条总线最多允许挂接 110 个设备；所有运行信息实时发送到上一级 SCADA 系统，包括遥测、遥信、保护定值、系统参数等；能接受上一级 SCADA 系统下发的各种遥控、遥调和保护定值整定、保护投退、系统参数修改等命令，实现变电站无人值守方案。

三、技术参数

DMR201P/DMR301P 型微机保护装置的技术参数见表 13-15。

表 13-15　DMR201P/DMR301P 型微机保护装置的技术参数

工作环境	
正常温度	−10～55℃
极限温度	−30～70℃
储存温度	−40～85℃
相对湿度	≤95%
大气压力	80～110kPa
工作电源	
电压范围	85～264V（AC 或 DC）
频率范围	40～70Hz
正常功耗	10W
最大功耗	20W
电源跌落	200ms
输入保险	4A
隔离耐压	3kV

交流电流回路	
额定电流	5A
功率消耗	<0.5V·A
过载能力	2 倍额定电流，连续工作 10 倍额定电流，允许 10s 40 倍额定电流，允许 1s
隔离耐压	4kV
交流电压回路	
额定电压	100V
功率消耗	<0.5V·A
过载能力	2 倍额定电压，连续工作
隔离耐压	4kV
控制电源回路	
额定电压	220V（AC 或 DC）
功率消耗	<4mA

（续）

过载能力	60% ~120%额定电压，连续工作
隔离耐压	4kV
开关量输入回路	
额定电压	DC48V（由装置内部电源提供）
分辨率	<1ms
隔离耐压	4kV
继电器输出回路	
分断电压	AC250V、DC220V
分断功率	1250V·A 交流或 120W 直流（电阻性负载） 500V·A 交流或 75W 直流（电感性负载）
工作电流	5A，连续工作
隔离耐压	4kV
触点材料	银上镶金
电气寿命	2000000 次
机械寿命	20000000 次
高压试验	
绝缘电阻	各电气回路之间　>500MΩ（500V 绝缘电阻表） 各电气回路与地　>500MΩ（500V 绝缘电阻表）
工频耐压	各电气回路之间　2.5kV/50Hz，1min 各电气回路与地　2.5kV/50Hz，1min
冲击电压	各电气回路之间　±5.0kV/0.5J，1.2/50μs 各电气回路与地　±5.0kV/0.5J，1.2/50μs
高频耐压	各电气回路之间　2.5kV/2s 各电气回路与地　2.5kV/2s
电气干扰试验	
高频干扰	电源回路（共模）　2.5kV/100kHz，1MHz 电源回路（差模）　1.0kV/100kHz，1MHz 交流电流回路（共模）　2.5kV/100kHz，1MHz 交流电流回路（差模）　1.0kV/100kHz，1MHz
快速瞬变	电源回路　±2.0kV/5kHz，1min 交流电流回路　±4.0kV/5kHz，1min
静电放电	空气放电　8.0kV 接触放电　6.0kV
高频电磁场	严酷等级Ⅲ级　10V/m
振动试验	
振动试验	符合 GB/T 7261—2008，严酷等级Ⅰ级
冲击试验	
碰撞试验	

四、安装接线

10kV 线路 DMR201P/DMR301P 型微机保护装置的安装接线如图 13-34 所示。

10kV 厂用配电变压器 DMR201P/DMR301P 型微机保护装置的安装接线如图 13-35 所示。

10kV 配电变压器 DMR201P/DMR301P 型微机后备保护装置的安装接线如图 13-36 所示。

微机综合保护装置在 10kV 开关柜上的安装示意如图 13-37 所示。



图 13-34　10kV 线路 DMR201P/DMR301P 型微机保护装置的安装接线

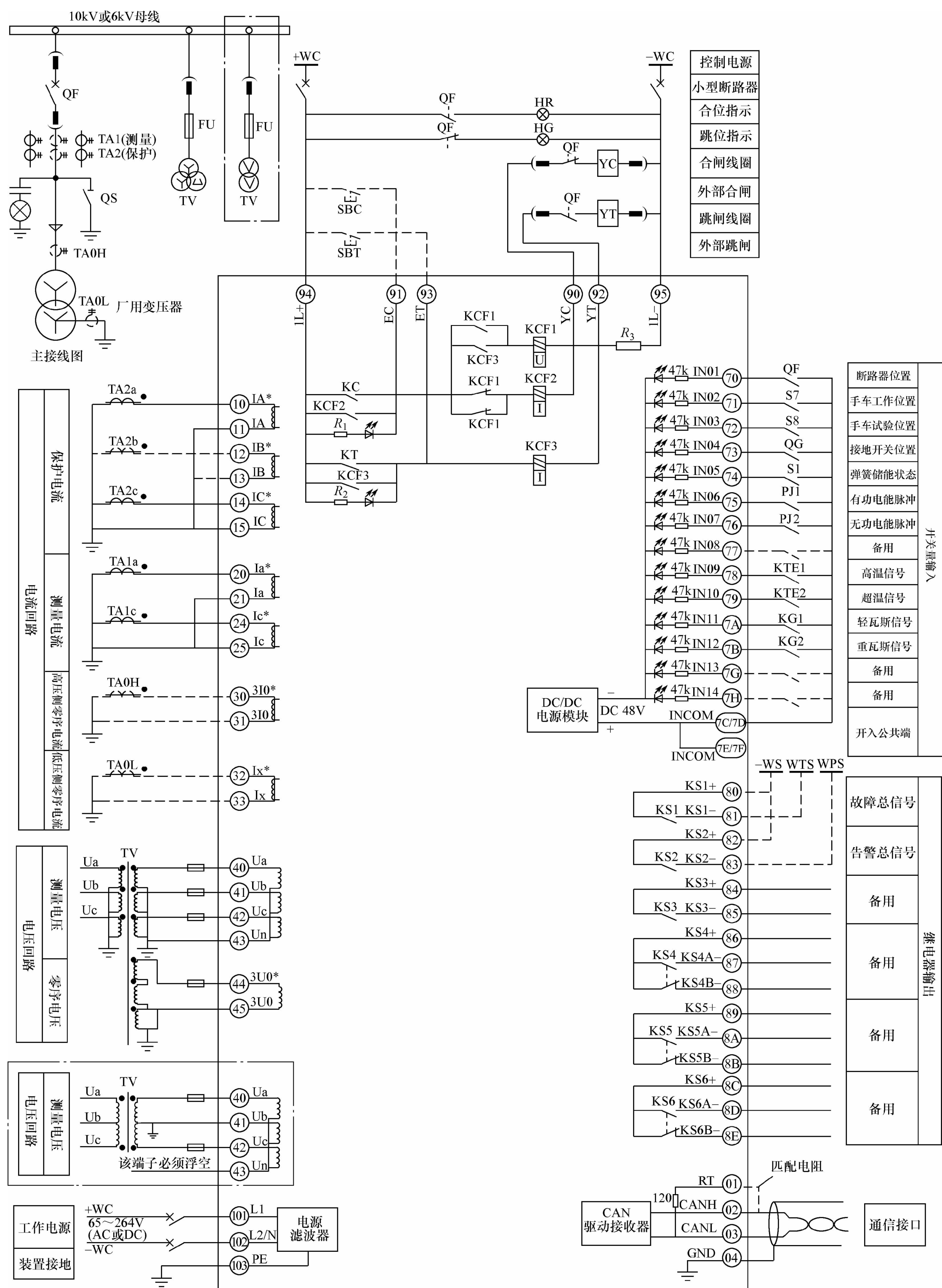


图 13-35　10kV 厂用配电变压器 DMR201P/DMR301P 型微机保护装置的安装接线

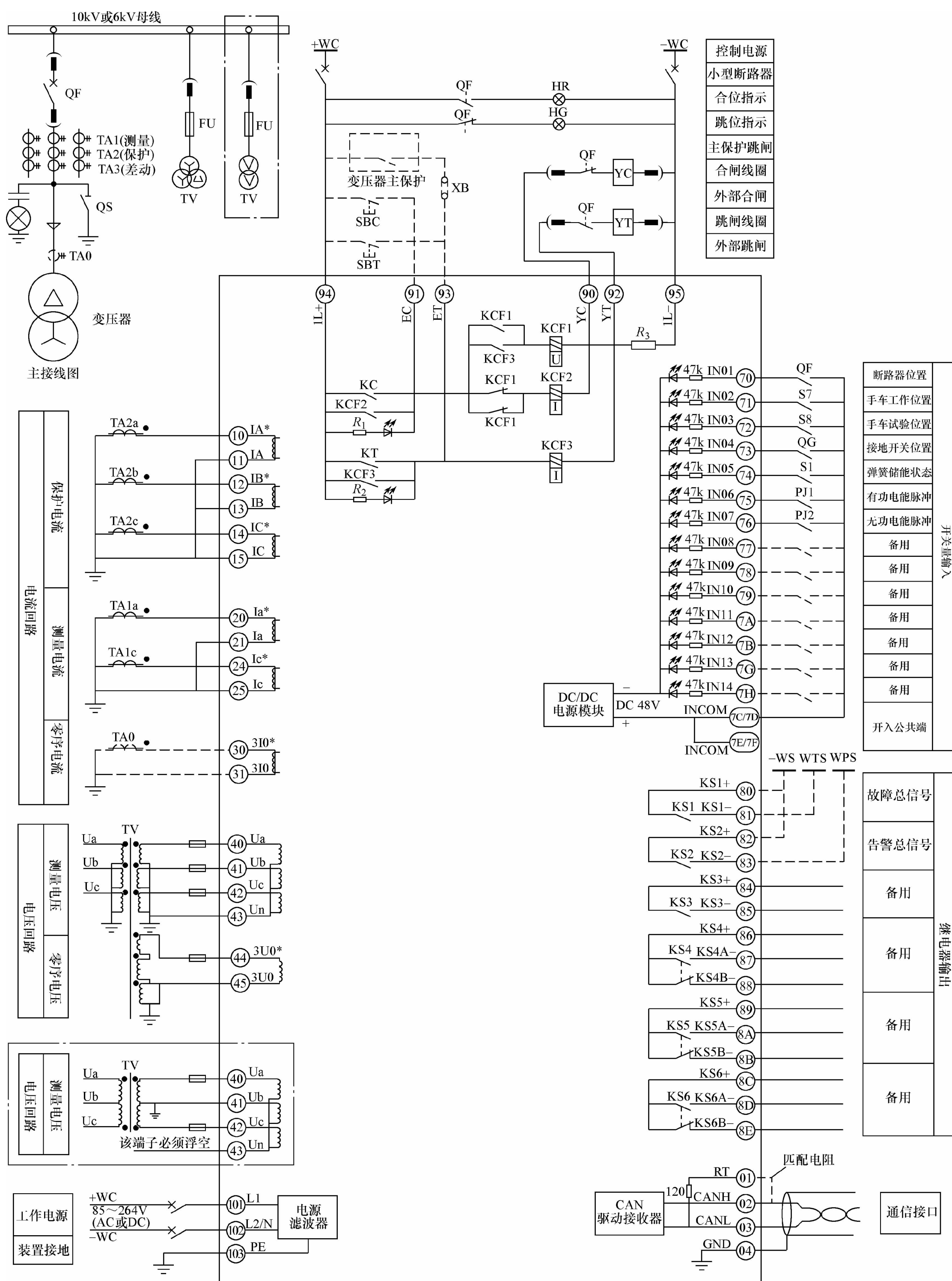


图 13-36　10kV 配电变压器 DMR201P/DMR301P 型微机后备保护装置的安装接线

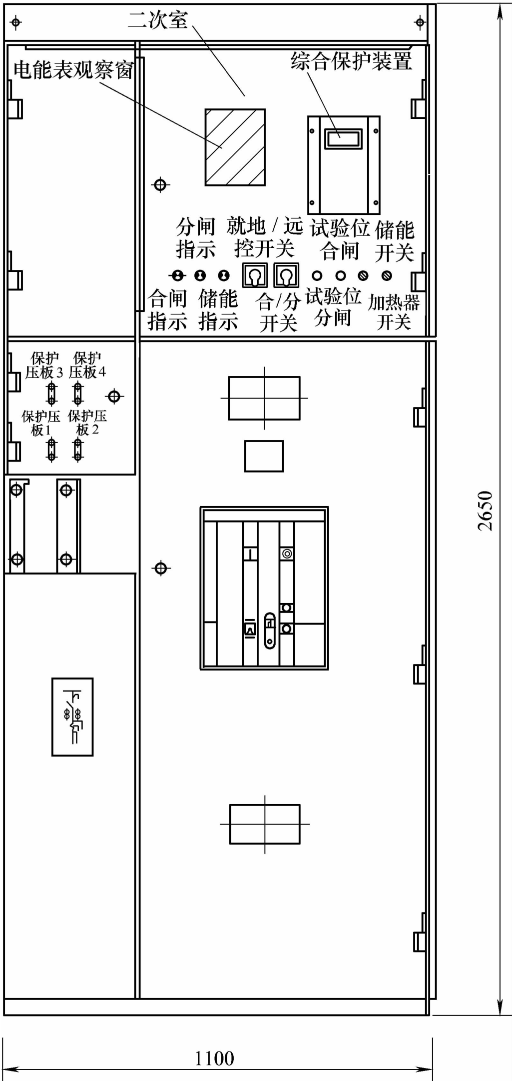


图 13-37　微机综合保护装置在 10kV 开关柜上的安装示意图

第十节　零序电流保护

一、10kV 线路零序电流保护

1. 简介

在中性点不接地的系统中，电缆引出线的单相接地零序电流保护如图 13-38 所示。当线路发生单相接地故障时，零序电流互感器二次电流大于整定值时，继电器 kA 动作，发出 10kV 电缆线路单相接地信号。

2. 零序电流互感器

（1）简介

TY-LJ 系列零序电流互感器有两种型式：一种是用于小接地电流系统的；一种是用于大

接地电流系统（中性点接地系统）的。两种均为电缆安装型（但也可以装于 PE 主母线上）。零序电流互感器的环形铁心上绕有二次线圈，采用 ABS 工程塑料外壳，树脂浇注成全封闭，绝缘性能好、外形美观，具有灵敏度高、线性度好、运行可靠、安装方便的优点。

图 13-38　电缆零序电流保护

a）接线原理图　b）安装示意图

（2）技术参数

TY-LJ 系列零序电流互感器技术参数见表 13-16 和表 13-17。

表 13-16　TY-LJ 系列零序电流互感器技术数据

型号说明：TY - L J K □□ A·B·C·J

- TY——公司标记
- L——电流互感器
- J——接地保护
- K——组合式（不标为整体式）
- □□——内孔直径
- A·B·C·J——类别

型号	一次零序电流/A	二次		外形尺寸/mm								配套使用的继电器
		电流/A	负载/Ω	ϕ	L	P	H	B	C	G	M	
TY-LJ80 TY-LJK80	1～10 10～40	0.02～0.25 0.25～1	2.5	80	195	47	168	144	121	175	M8	小电流接地选线装置
TY-LJ100 TY-LJK100	1～10 10～40	0.02～0.25 0.25～1	2.5	100	215	53	190	158	136	195	M8	小电流接地选线装置

注：G 为地脚中心距；M 为地脚内螺孔。

表 13-17　TY-LJ 零序电流互感器技术数据

型　号	电流比	额定输出/VA（$\cos\varphi=0.8$）	准备限值系数	1s 热稳定电流/kA	外形尺寸/mm							
					φ	L	H	P	G	M	B	C
Y-LJ100J Y-LJK100J	50/1	5	5,8	5	100	235	210	75	215	M8	175	155
	50/5	10	4									
	75/1	10	10	5	100	235	210	140	215	M8	175	155
	75/5											
	100/1	5	5,10	6.5	100	215	190	53	195	M8	158	136
	100/5	10	5									
	150/1	10	10	10	100	235	210	75	215	M8	175	155
	150/5	20	5									
	200/1	5	5,10	13	100	215	190	53	195	M8	158	136
	200/5	10	5,10									
	250/1											
	250/5	20	5,10	20	100	235	210	75	215	M8	175	155
	300/1											
	300/5及以上	30	5									
Y-LJ120J Y-LJK120J	50/1	5	5,10	5	120	275	250	75	255	M10	202	180
	50/5	10	5									
	75/1	10	10	5	120	275	250	140	255	M10	202	180
	75/5											
	100/1	5	5,10	6.5	120	235	210	60	215	M8	175	155
	100/5	10	5									
	150/1	10	10	10	120	275	250	75	255	M10	202	180
	150/5	20	5									
	150/1	30	5	10								
	150/5											
	200/1	5,10	5,10	13	120	235	210	60	215	M8	175	155
	200/5	20	5									
	250/1											
	250/5	20	10	20	120	275	250	75	255	M10	202	180
	300/1											
	300/5及以上	30	5									

（3）使用条件

环境温度最高为 +40℃；月平均气温在 −5 ~ +30℃之间；海拔不超过 1000m；相对湿度不大于 85%；线路交流电压为 0.4 ~66kV；电网频率为 50Hz。

（4）安装注意事项

1）整体式零序电流互感器安装要在做电缆头前进行，电缆敷设时穿过零序电流互感器。

2）开口式零序电流互感器不受电缆敷设与否的限制，具体安装方法如下：

①拆下零序互感器端子 K′1 和 K′2 的连接片。

②将互感器顶部两条内六角螺栓松开拆下，互感器便成为两部分。

③互感器套在电缆上，把两个接触面擦干净，薄薄涂上一层防锈油，对好互感器两部分后，拧上内六角螺栓，零序电流互感器两部分要对齐以免影响性能。

3. 单相接地电流的计算

在 10kV 配电系统中，变压器中性点不接地时，线路 W 相发生单相接地故障如图 13-39 所示。根据图 13-39b 相量分析，可得

$$I_e = \sqrt{3}\dot{I}'_{C \cdot U} = \sqrt{3}\dot{I}'_{C \cdot V}$$

因为 $I'_{C \cdot U} = I'_{C \cdot V} = \sqrt{3} I_C$

所以
$$\dot{I}_e = 3\dot{I}_C \tag{13-16}$$

由式（13-16）可知，单相接地零序电流等于正常时相对地电容电流的 3 倍。

单相接地零序电流按式（13-17）计算，即

$$I_e = 3I_C = 3U_{Ph}\omega C \tag{13-17}$$

式中，I_e 为单相接地电流，单位为 A；I_C 为一相对地电容电流，单位为 A；U_{Ph} 为正常运行时的相电压，单位为 V；ω 为角频率，$\omega = 2\pi f$，单位为 rad/s；C 为相对地的电容，单位为 F。

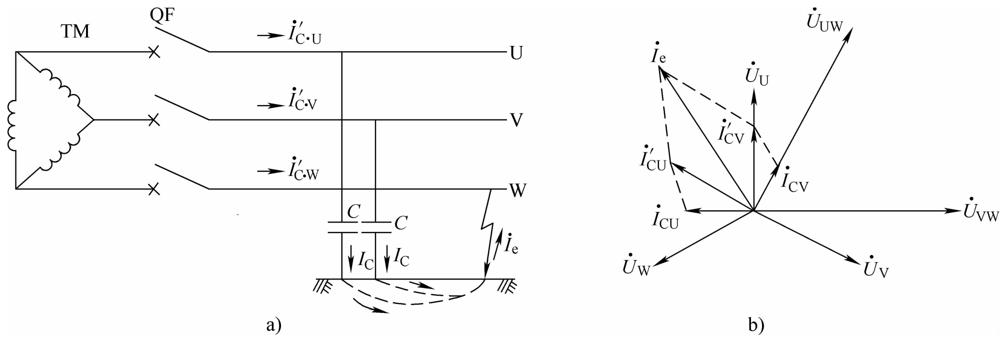


图 13-39　线路 W 相接地故障

a）电路图　b）相量图

在实用中，接地电流可按式（13-18）计算，即

架空线路
$$I_e = \frac{UL}{350}$$

电缆线路
$$I_e = \frac{UL}{10} \tag{13-18}$$

式中，I_e 为单相接地电流，单位为 A；U 为线路线电压，单位为 kV；L 为带电线路长度，单位为 km。

架空线路及电缆线路每千米单相接地电容电流的平均值见表 13-18。

表 13-18　架空线路及电缆线路单相接地电容电流平均值　　（单位：A/km）

电压/kV	架空线路	电缆线路，当截面积为下列诸值时（mm^2）										
		10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
6	0.013	0.33	0.37	0.46	0.52	0.59	0.71	0.82	0.89	1.10	1.20	1.30
10	0.0256	0.46	0.52	0.62	0.69	0.77	0.90	1.00	1.10	1.30	1.40	1.60

4. 动作电流整定值计算

保护的一次动作电流的整定值应躲过与被保护线路同一网络的其他线路发生单相接地故障时，由被保护线路流出的（被保护线路本线的）接地电容电流值 $I_{e \cdot C}$，即

$$I_{op} \geqslant K_{rel} I_{e \cdot C} \tag{13-19}$$

式中，K_{rel} 为可靠系数，当保护作用于瞬时信号时，选 $K_{rel} = 4 \sim 5$，当保护作用于延时信号时，选 $K_{rel} = 1.5 \sim 2$；$I_{e \cdot C}$ 为被保护线路本线的接地电容电流。

【例 13-3】 1 条 10kV 架空线路，长度 $l=10$km，配置零序电流保护装置，当某相发生单相接地故障时，试计算线路单相接地零序电流，及保护动作电流整定值。

解： 架空线路发生单相接地电流按式（13-18）计算，即

$$I_{e\cdot C}=\frac{UL}{350}=\frac{10\times10}{350}\text{A}=0.2857\text{A}$$

零序保护动作电流按式（13-19）计算，即

$$I_{op1}=K_{rel}I_{e\cdot C}=4\times0.2857\text{A}=1.14\text{A}$$

查表 13-16 可知，选择 TY-LJ100 型零序电流互感器，电流比 $K_A=50/5=10$，一次零序电流 1～10A，二次电流 0.02～0.25A。

该保护中，零序电流互感器二次动作电流为：

$$I_{op2}=\frac{I_{op1}}{K_A}=\frac{1.14}{10}\text{A}=0.114\text{A}\ 取\ I_{op2}=0.1\text{A}$$

查表 13-7，选用 RCS-9612AⅡ型线路保护测控装置时，零序电流保护动作电流整定值范围为 0.02～15A，故满足保护动作整定要求。

二、0.4kV 低压线路零序电流保护

1. 单相接地短路保护

（1）简介

对于电力用户常用的低压侧电压为 400V 双绕组降压变压器，除利用相间短路的过电流保护（或熔断器保护）作为低压侧单相接地保护外，还在变压器低压中性线上装设零序电流保护装置，作为变压器低压侧的单相接地保护。

零序电流保护接线示意图如图 13-40 所示。当二次侧发生单相接地时，中性线上流过零序电流。图 13-40a 为高压侧装有断路器，保护动作后跳开断路器；图 13-40b 为高压侧装设负荷开关，低压侧装设断路器，保护动作后跳开低压断路器，将故障切除。

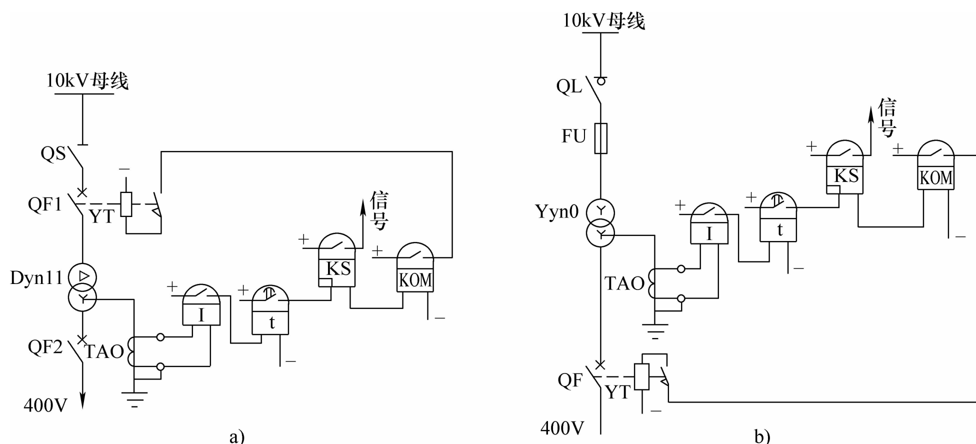


图 13-40　双绕组变压器零序过电流保护的原理接线

a）动作于高压侧断路器跳闸　b）动作于低压侧断路器跳闸

单相接地短路如图 13-41 所示。

（2）单相接地短路电流的计算

以 W 相接地，根据对称分量法原理，yn 侧各相电流为

$$
\left.\begin{aligned}
\dot{I}_{\mathrm{U}} &= a^2\dot{I}_{\mathrm{W1}} + a\dot{I}_{\mathrm{W2}} + I_{\mathrm{W0}} = 0\\
\dot{I}_{\mathrm{V}} &= a\dot{I}_{\mathrm{W1}} + a^2\dot{I}_{\mathrm{W2}} + I_{\mathrm{W0}} = 0\\
\dot{I}_{\mathrm{W}} &= \dot{I}_{\mathrm{W1}} + \dot{I}_{\mathrm{W2}} + \dot{I}_{\mathrm{W0}} = \dot{I}^{(1)}_{\mathrm{KW}}
\end{aligned}\right\} \tag{13-20}
$$

式中，$\dot{I}_{\mathrm{U}}$、$\dot{I}_{\mathrm{V}}$、$\dot{I}_{\mathrm{W}}$ 为配电变压器低压侧电流，单位为 A；$\dot{I}_{\mathrm{W1}}$、$\dot{I}_{\mathrm{W2}}$、I_{W0}为 W 相单相接地短路时，顺序、负序、零序电流，单位为 A；$\dot{I}^{(1)}_{\mathrm{KW}}$为 W 相单相接地短路电流，单位为 A；$a$ 为 $e^{\frac{2}{3}\pi} = -0.5 + \mathrm{j}0.866$；$a^2$ 为 $e^{\frac{4}{3}\pi} = -0.5 - \mathrm{j}0.866$。

解方程式（13-20）得

$$
\left.\begin{aligned}
\dot{I}_{\mathrm{W1}} &= \frac{1}{3}\dot{I}^{(1)}_{\mathrm{KW}}\\
\dot{I}_{\mathrm{W2}} &= \frac{1}{3}I^{(1)}_{\mathrm{KW}}\\
\dot{I}_{\mathrm{W0}} &= \frac{1}{3}I^{(1)}_{\mathrm{KW}}
\end{aligned}\right\} \tag{13-21}
$$

单相接地短路时，复合序网如图 13-42 所示。

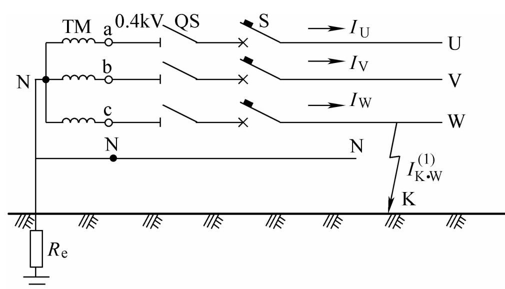


图 13-41　单相接地短路

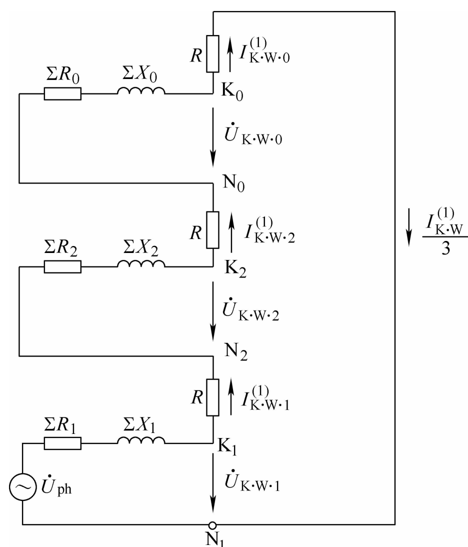


图 13-42　W 相单相接地短路复合序网

从图 13-42 中得知：

$$
I^{(1)}_{\mathrm{KW}} = \frac{3U_{\mathrm{ph}}}{\Sigma Z} = \frac{3U_{\mathrm{ph}}}{3R + \Sigma R_0 + \Sigma R_1 + \Sigma R_2 + \Sigma X_0 + \Sigma X_1 + \Sigma X_2} \tag{13-22}
$$

式中，$I^{(1)}_{\mathrm{KW}}$为 W 相单相接地短路电流，单位为 A；U_{ph}为相电压，230V；ΣZ 为短路回路阻抗，单位为 Ω；R 为配电变压器低压侧中性点接地电阻，一般为 4Ω；ΣR_0、ΣR_1、ΣR_2 为配电变压器低压侧单相接地短路回路的零序、顺序、负序电阻，单位为 Ω；ΣX_0、ΣX_1、ΣX_2 为配电变压器低压侧单相接地短路回路的零序、顺序、负序电抗，单位为 Ω。

通常情况下，有 $|\Sigma X_0 + \Sigma X_1 + \Sigma X_2| << R$。所以在工程实际应用中，单相接地短路电流按式（13-23）计算，即

$$I_{K}^{(1)} = \frac{U_{ph}}{R} \tag{13-23}$$

式中，$I_{K}^{(1)}$ 为单相接地短路电流，单位为 A；U_{ph}为接地相电源相电压，230V；R 为配电变压器低压侧中性点接地电阻，单位为 Ω。

（3）保护动作电流整定

单相接地短路保护动作电流整定值按式（13-24）计算，即

$$I_{op} = KI_{K}^{(1)} \tag{13-24}$$

式中，I_{op}为保护动作电流整定值，单位为 A；K 为可靠系数，取 1.2；$I_{K}^{(1)}$ 为单相接地短路电流，单位为 A。

（4）校验灵敏度

单相接地短路保护动作灵敏度按式（13-25）校验，即

$$K_{sen} = \frac{I_{K}^{(1)}}{I_{op}} \geqslant 1.25 \tag{13-25}$$

式中，K_{sen}为保护动作灵敏度；$I_{K}^{(1)}$ 为单相接地短路电流，单位为 A；I_{op}为保护动作电流整定值，单位为 A。

2. 单相短路短保护

（1）简介

在低压配电网络中，容易发生相线与零线的短路，如图 13-43 所示。

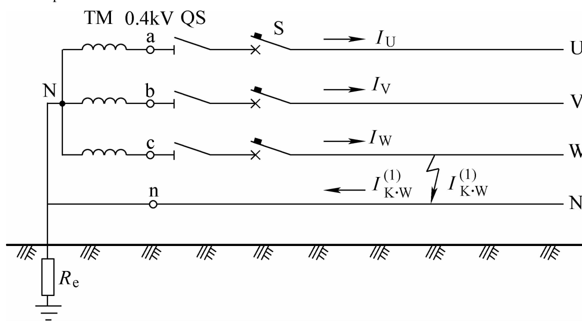


图 13-43　低压单相短路

（2）单相短路电流的计算

单相短路电流按式（13-26）计算，即

$$I_{KW}^{(1)} = \frac{3U_{ph}}{\Sigma Z} = \frac{3U_{ph}}{\sqrt{(\Sigma R_0 + \Sigma R_1 + \Sigma R_2)^2 + (\Sigma X_0 + \Sigma X_1 + \Sigma X_2)^2}} \tag{13-26}$$

式中，$I_{KW}^{(1)}$为单相短路电流，单位为 A；U_{ph}为相电压，230V；ΣZ 为短路回路阻抗，单位为 Ω；ΣR_0、ΣR_1、ΣR_2 分别为短路回路零序、顺序、负序电阻，单位为 Ω；ΣX_0、ΣX_1、ΣX_2 分别为短路回路零序、顺序、负序电抗，单位为 Ω。

（3）保护动作电流整定

单相短路保护动作电流整定值按式（13-27）计算，即

$$\left.\begin{aligned} I_{op1} &= K_{rel} \times 0.25 I_{N2} \\ I_{op2} &= \frac{I_{op1}}{K_{TA}} \end{aligned}\right\} \tag{13-27}$$

式中，I_{op1}、I_{op2}分别为保护动作一次、二次电流，单位为 A；K_{rel}为可靠系数，取 1.2 ~ 1.3；I_{N2}为配电变压器低压侧额定电流，单位为 A；K_{TA}为零序电流互感器电流比。

（4）校验灵敏度

低压相间短路保护动作灵敏度按式（13-28）校验

$$K_{sen} = \frac{I_{K}^{(1)}}{I_{op}} \geqslant 1.5 \tag{13-28}$$

式中，K_{sen}为保护动作灵敏度；$I_K^{(1)}$ 为单相短路电流，单位为 A；I_{op}为保护动作电流，单位为 A。

（5）动作时间的整定

零序电流保护动作时间一般整定为 $t=0.1\sim0.2s$。

【例 13-4】 某 10kV 配电所，安装 1 台 SBH11-M-1000/10 型配电变压器，额定电压 $U_{N1}/U_{N2}=10/0.4kV$，额定容量 $S_N=1000kV\cdot A$，绕组联结 Yyn0；低压侧选用 LMY-100×10 型铝母线，长度 $L_m=10m$；隔离开关额定电流 $I_N=2000A$，空气断路器额定电流 $I_N=400A$；低压线路选用 YJLV22-3×95+1×50 型四芯铝电缆，试计算 0.4kV 低压线路单相接地及单相短路保护的相关参数。

解： 1. 单相接地短路电流保护

（1）短路电流的计算

低压单相接地短路如图 13-41 所示。查表 1-2 得 SBH11-M-1000/10 型配电变压器的电阻 $R_T=1.47m\Omega$，电抗 $X_T=7.05m\Omega$。查表 1-4 得该配电变压的零序电抗 $X_{T0}=110.2m\Omega$，则该配电变压器的顺序、负序、零序电抗为

$$R_{T1}=R_{T2}=R_T=1.47m\Omega$$

$$X_{T1}=X_{T2}=X_T=7.05m\Omega$$

$$X_{T0}=110.2m\Omega$$

查表 1-11 得 LMY-100×10 型铝母线单位长度电阻为 $R_{m\cdot0}=0.041m\Omega/m$，单位长度电抗为 $X_{m\cdot0}=0.156m\Omega/m$，则母线顺序、负序电阻、电抗为

$$R_{m1}=R_{m2}=R_{m\cdot0}L_m=0.041\times10m\Omega=0.41m\Omega$$

$$X_{m1}=X_{m2}=X_{m\cdot0}L_m=0.156\times10m\Omega=1.56m\Omega$$

查表 1-12 得 2000A 的刀开关接触电阻 $R_{QS}=0.03m\Omega$。

查表 1-12 得 400A 的低压断路器接触电阻 $R_s=0.40m\Omega$，查表 1-13 得其过电流线圈电阻 $R_s=0.15m\Omega$，电抗 $X_s=0.10m\Omega$。

查表 1-8 得 YJLV22-3×95+1×50 型电缆相线单位长度电阻 $R_{L\cdot0}=0.385m\Omega/m$，查表 1-10 得电缆相线单位长度电抗 $X_{L\cdot0}=0.066m\Omega/m$，单位长度零序电抗 $X_{L0\cdot0}=0.17m\Omega/m$。则电缆的顺序、负序、零序电抗为

$$R_{L1}=R_{L2}=R_{L0}L=0.385\times50m\Omega=19.25m\Omega$$

$$X_{L1}=X_{L2}=X_{L0}L=0.066\times50m\Omega=3.3m\Omega$$

$$X_{L0}=X_{L0\cdot0}L=0.17\times50m\Omega=8.5m\Omega$$

零线 $50mm^2$ 电缆查表 1-8 得单位长度电阻 $R_{N0}=0.732m\Omega/m$，查表 1-10 得单位长度电抗 $X_{N0}=0.066m\Omega/m$，零序电抗 $X_{N0\cdot0}=0.17m\Omega/m$。则电缆零线顺序、负序、零序的电阻、电抗为

$$R_{N1}=R_{N2}=R_{N0}L=0.732\times50m\Omega=36.6m\Omega$$

$$X_{N1}=X_{N2}=X_{N0}L=0.066\times50m\Omega=3.3m\Omega$$

$$X_{N0}=X_{N0\cdot0}L=0.17\times50m\Omega=8.5m\Omega$$

配电变压器低压侧中性点接地电阻 $R_e=4\times10^3m\Omega$。

单相接地短路电阻、电抗等效电路如图 13-44 所示。

短路回路电阻值为

$$\begin{aligned}\Sigma R &= R_{T1}+R_{T2}+R_{m1}+R_{m2}+R_{QS}+R_{S}+R_{S}+R_{L1}+R_{L2}+3R_{e}\\ &=(1.47+1.47+0.41+0.41+0.03+0.4+0.15+19.25+19.25+3\times4\times10^{3})\text{m}\Omega\\ &=12042.84\text{m}\Omega\end{aligned}$$

短路回路电抗值为

$$\begin{aligned}\Sigma X &= X_{T1}+X_{T2}+X_{T0}+X_{m1}+X_{m2}+X_{S}+X_{L1}+X_{L2}+X_{L0}\\ &=(7.05+7.05+110.2+1.56+1.56+0.10+3.3+3.3+8.5)\text{m}\Omega\\ &=142.62\text{m}\Omega\end{aligned}$$

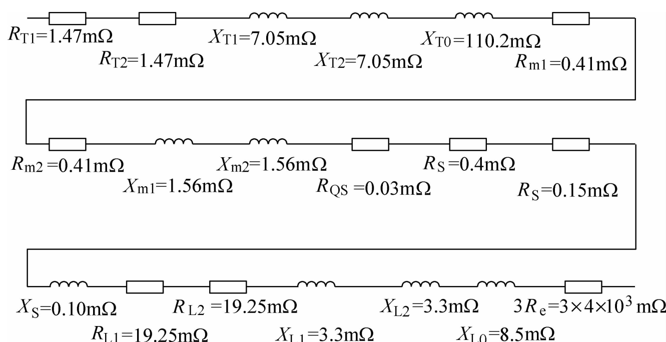


图 13-44　单相接地短路电阻、电抗等效电路

短路回路阻抗值为

$$\Sigma Z=\sqrt{\Sigma R^{2}+\Sigma X^{2}}=\sqrt{12042.84^{2}+142.62^{2}}\text{m}\Omega=12043.68\text{m}\Omega$$

单相接地短路电流按式（13-22）计算，即

$$I_{K\cdot W}^{(1)}=\frac{3U_{ph}}{\Sigma Z}=\frac{3\times230}{12043.68\times10^{-3}}\text{A}=57.29\text{A}$$

或按式（13-23）计算，即

$$I_{K\cdot W}^{(1)}=\frac{U_{ph}}{R}=\frac{230}{4}\text{A}=57.5\text{A}$$

（2）保护动作电流整定值计算

单相接地保护动作电流整定值按式（13-24）计算，即

$$I_{op\cdot1}=KI_{K}^{(1)}=1.2\times57.29\text{A}=68.75\text{A}$$

查表 13-17 选择 Y-LJ100J 型零序电流互感器，电流比 $K=50/5=10$，零序电流保护二次动作电流为

$$I_{op\cdot2}=\frac{I_{op\cdot1}}{K_{TA}}=\frac{68.75}{10}\text{A}=6.875\text{A}$$

考虑到保护动作灵敏度的要求，故取整定值 $I_{op\cdot1}=40\text{A}$，$I_{op\cdot2}=4\text{A}$

（3）校验灵敏度

保护动作灵敏度按式（13-25）校验，即

$$K_{sen}=\frac{I_{K}^{(1)}}{I_{op\cdot1}}=\frac{57.29}{40}=1.43>1.25$$

故灵敏度满足要求。

2. 单相短路电流保护

（1）短路电流的计算

低压相线与零线之间的单相短路如图 13-43 所示。单相短路电阻、电抗等效电路如图 13-45 所示。

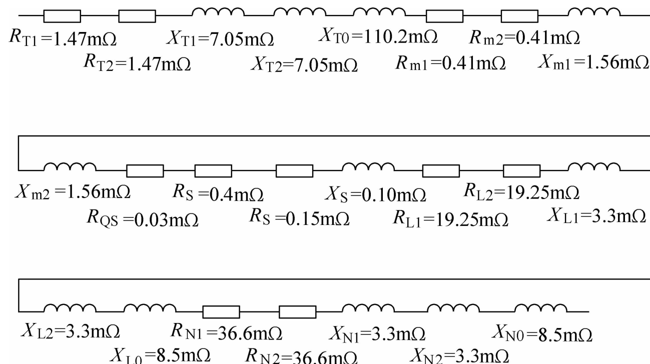


图 13-45　单相短路电阻、电抗等效电路

短路回路电阻值为

$$\begin{aligned}\Sigma R &= R_{T1}+R_{T2}+R_{m1}+R_{m2}+R_{QS}+R_S+R_S+R_{L1}+R_{L2}+R_{N1}+R_{N2}\\&=(1.47+1.47+0.41+0.41+0.03+0.4+0.15+19.25+19.25+36.6+36.6)\text{m}\Omega\\&=116.04\text{m}\Omega\end{aligned}$$

短路回路电抗值为

$$\begin{aligned}\Sigma X &= X_{T1}+X_{T2}+X_{T0}+X_{m1}+X_{m2}+X_S+X_{L1}+X_{L2}+X_{L0}+X_{N1}+X_{N2}+X_{N0}\\&=(7.05+7.05+110.2+1.56+1.56+0.10+3.3+3.3\\&\quad+8.5+3.3+3.3+8.5)\text{m}\Omega\\&=157.72\text{m}\Omega\end{aligned}$$

短路回路阻抗为

$$\Sigma Z_1=\sqrt{\Sigma R^2+\Sigma X^2}=\sqrt{116.04^2+157.72^2}\text{m}\Omega=195.81\text{m}\Omega$$

单相短路电流按式（13-22）计算，即

$$I_{K\cdot W}^{(1)}=\frac{3U_{ph}}{\Sigma Z_1}=\frac{3\times 230}{195.81\times 10^{-3}}\text{A}=3524\text{A}$$

（2）保护动作电流整定值计算

配电变压器 0.4kV 低压侧额定电流按式（2-6）计算，即

$$I_{N2}=\frac{S_N}{\sqrt{3}U_{N2}}=\frac{1000}{\sqrt{3}\times 0.4}\text{A}=1443.42\text{A}$$

单相短路保护动作电流按式（13-27）计算，即

$$I_{op\cdot 1}=K_{rel}\times 0.25I_{N2}=1.3\times 0.25\times 1443.42\text{A}=469.11\text{A}$$

查表 13-17 选择 Y-LJ100J 型零序电流互感器，电流比 $K=300/5=60$，则电流互感器二次动作电流为

$$I_{op\cdot 2}=\frac{I_{op\cdot 1}}{K_{TA}}=\frac{469.11}{60}\text{A}=7.82\text{A}$$

故保护动作电流整定值取 $I_{op\cdot 1}=480\text{A}$，$I_{op\cdot 2}=8\text{A}$。

（3）校验灵敏度

保护动作灵敏度按式（13-25）校验，即

$$K_{sen}=\frac{I_{K\cdot W}^{(1)}}{I_{op\cdot 1}}=\frac{3524}{480}=7.34>1.5$$

故灵敏度满足要求。

第十一节　备用电源自投装置

一、NSP-642 型数字式备用电源自投装置

1. 简介

NSP-642 型数字式备用电源自投装置以 NS 系列保护的通用硬件为基础，继承了该硬件平台大资源、高起点的特点。备用电源自投功能的实现采用图形化逻辑可编程的方式，可灵活实现各种备投方案，适用于各种电压等级的备用电源自动投入控制。

该装置配置为两个 CPU 插件，其中一个为由 32 位微处理器构成的保护及自动化功能单元，该单元配置了大容量的 RAM 和 Flash Memory，具有极强的数据处理、逻辑运算和信息存储能力；另一个 CPU 由总线不出芯片的单片机构成通用的人机接口单元。两个 CPU 插件之间相互独立，无依存关系。各种保护功能及自动化功能均由软件实现。

2. 备用电源自投方式

在 10kV 配电系统中，2 路 10kV 电源进线，分别由 QF_1、QF_2 断路器控制，母线由 QF_3 断路分段运行，10kV 配电所电气主接线形式如图 13-46 所示。

Ⅰ段母线失电，跳开 1QF，在Ⅱ段母线有压的情况下，合 3QF；Ⅱ段母线失电，跳开 2QF，在Ⅰ段母线有压的情况下，合 3QF；1QF 或 2QF 偷跳时，合 3QF 保证正常供电。为防止 PT 断线时备自投误动，取线路电流作为母线失压的闭锁判据。

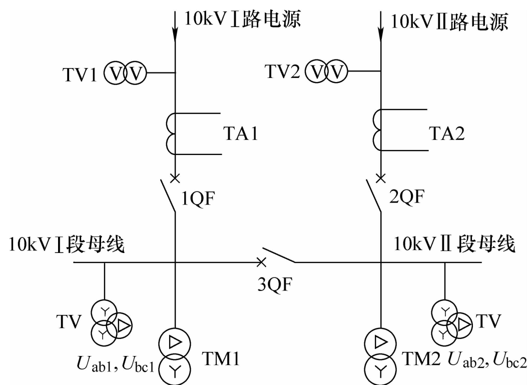


图 13-46　10kV 配电所电气主接线

变压器保护动作，闭锁本备投，开入量为开入 5。

本方案中还考虑了两轮式的Ⅰ、Ⅱ线过负荷联切负荷，这些功能独立于备投逻辑，可通过相应的软压板投退。

以上过程可分解为下列动作逻辑：

1）动作逻辑 1：1QF 在跳闸位置作为闭锁条件；Ⅰ段母线失电压，Ⅱ段母线有压，线路Ⅰ电流小于电流定值 Idz1 作为允许条件；以 T1 延时跳开 1QF。

2）动作逻辑 2：2QF 在跳闸位置作为闭锁条件；Ⅱ段母线失电压，Ⅰ段母线有压，线路Ⅱ电流小于电流定值 Idz2 作为允许条件；以 T2 延时跳开 2QF。

3）动作逻辑 3：Ⅱ段母线电压小于有压定值 Udz2 作为闭锁条件：1QF 在跳闸位置，Ⅰ段母线失压作为允许条件；以 T3 延时合 3QF 或Ⅰ段母线电压小于有压定值 Udz2 作为闭锁条件；2QF 在跳闸位置，Ⅱ段母线失电压作为允许条件；以 T3 延时合 3QF。

4）联切逻辑 4：Ⅰ线电流大于电流定值 Idz3，或Ⅱ线电流大于电流定值 Idz5，经延时 T4，第一轮联切出口。此逻辑由联切压板（备用压板一）投退。

5）联切逻辑 5：Ⅰ线电流大于电流定值 Idz4，或Ⅱ线电流大于电流定值 Idz6，经延时 T5，第二轮联切出口。此逻辑由联切压板（备用压板一）投退。

3. 端子接线

电压输入端子：接Ⅰ段母线 PT 电压；Ua1，Ub1，Uc1；

电压输入端子：接Ⅱ段母线 PT 电压；Ua2，Ub2，Uc2；

电流输入端子：接线路Ⅰ电流；Ⅰ1，Ⅰ1N；

电流输入端子：接线路Ⅱ电流；Ⅰ2，Ⅰ2N；

电流输入端子：接母联或桥开关电流Ⅰa，Ⅰ3，Ⅰ3N；

电流输入端子：接母联或桥开关电流Ⅰb，Ⅰ4，Ⅰ4N；

电流输入端子：接母联或桥开关电流Ⅰc，Ⅰ5，Ⅰ5N；

开关量输入端子：备自投总闭锁；开入 1；

开关量输入端子：接 1DL 跳位 TWJ 动合触头，开入 2；

开关量输入端子：接 2DL 跳位 TWJ 动合触头，开入 3；

开关量输入端子：接 3DL 跳位 TWJ 动合触头，开入 4；

开关量输入端子：变压器保护动作，闭锁本备投，开入 5；

触头输出端子：接至母联 3DL 操作箱跳闸输入，出口 1；

触头输出端子：接至母联 3DL 操作箱合闸输入，出口 2；

触头输出端子：接至 1DL 操作箱跳闸输入，出口 3；

触头输出端子：第一轮联切出口；出口 4；

触头输出端子：接至 2DL 操作箱跳闸输入，出口 5；

触头输出端子：第二轮联切出口；出口 6。

4. 相关定值说明

1）控制字：整定为方式 1（KG. 0 = 1）。

2）电压定值 Udz1：Ⅰ母或Ⅱ母失压定值（定为 30V）；

3）电压定值 Udz2：Ⅰ母或Ⅱ母有压定值（定为 70V）；

4）电流定值 Idz1：Ⅰ线无电流定值，用于Ⅰ母失压判别（区别于 PT 断线）；

5）电流定值 Idz2：Ⅱ线无电流定值，用于Ⅱ母失压判别（区别于 PT 断线）；

6）电流定值 Idz3：Ⅰ线过负荷Ⅰ段定值，用于联切第一轮负荷；

7）电流定值 Idz4：Ⅱ线过负荷Ⅰ段定值，用于联切第一轮负荷；

8）电流定值 Idz5：Ⅰ线过负荷Ⅱ段定值，用于联切第二轮负荷；

9）电流定值 Idz6：Ⅱ线过负荷Ⅱ段定值，用于联切第二轮负荷；

10）电流定值 Idz7：过电流Ⅰ段定值，用于电流保护；

11）电流定值 Idz8：过电流Ⅱ段定值，用于电流保护（兼加速段定值）；

12）时间定值 T1：跳 1DL 的延时时间；

13）时间定值 T2：跳 2DL 的延时时间；

14）时间定值 T3：合 3DL 的延时时间；

15）时间定值 T4：第一轮联切负荷延时时间；

16）时间定值 T5：第二轮联切负荷延时时间；

17）时间定值 T6：过电流保护Ⅰ段延时时间；

18）时间定值 T7：过电流保护Ⅱ段延时时间；

19）时间定值 T8：加速（加速Ⅱ段）延时时间。

二、DPT/TE 双电源自动切换装置

1. 概述

DPT/TE 装置主要用于控制和自动切换带母线联络断路器的两路 0.4kV 电源的供电系统。

一个 2 位置转换开关用于设定两种工作模式：自动模式（AUTO）；关断模式（OFF）。当系统投入运行时，需将运行开关置于运行 RUN 位置，而复位 RESET 按钮可使运行程序恢复到初始状态。

2. 自投自复的自动模式

当转换开关置于自动 AUTO 位置时，系统将处于自动切换状态：

1）在正常状态下，（电源 U_1 和 U_2 电压都正常），则母联断路器 Q3 断开，断路器 Q1 及 Q2 闭合。

2）当电源 U_1 失压，电源 U_2 电压正常且母联断路器 Q3 处于断开状态，则断路器 Q1 经 t_1 延时断开，母联断路器 Q3 在断路器 Q1 断开后经 t_2 延时闭合，则两路用电均由电源 U_2 提供。

3）当电源 U_1 恢复正常后，母联断路器 Q3 经 t_3 延时后断开，断路器 Q1 在母联断路器 Q3 断开后经 t_4 延时闭合。

4）当电源 U_2 失压，电源 U_1 电压正常且母联断路器 Q3 处于断开状态，则断路器 Q2 经 t_1 延时断开，母联断路器 Q3 在断路器 Q2 断开后经 t_2 延时闭合，则两路用电均由电源 U_1 提供。

5）当电源 U_2 恢复正常时，母联断路器 Q3 经 t_3 延时后断开断路器 Q2 在母联断路器 Q3 断开后经 t_4 延时闭合。

3. 关断模式

当关断模式下，系统并不考虑电源 U_1 和 U_2 电压是否正常，断路器 Q1/Q2 和母联断路器 Q3 均会处于断开状态。

4. 主要功能

DPT/TE 双电源自动切换装置主要功能见表 13-19。

表 13-19　DPT/TE 主要功能

序　号	名　称	功　能	序　号	名　称	功　能
1	电流范围/A	≤6300	8	市电一发电机转换	✓
2	转换模式	自动	9	断路器状态转换	✓
3	延时控制	✓	10	自投自复	✓
4	失电压转换	✓	11	拒执行报警	✓
5	欠/过电压转换	✓	12	过/欠电压报警	✓
6	欠/过电压检测	✓	13	断相报警	✓
7	断相转换	✓	14	外接报警装置	✓

从接收到电压存在与否的输入信号至输出对断路器开合的执行命令的时间延迟，由内部的微处理器来实现，可以通过分别调节的四个延时旋钮来设定所需断路器开合延时时间，其调节范围为0. 5 ~30s。

1）t_1 为从电源 U_1（或 U_2）失电压至断路器 Q1（或 Q2）断开的延时时间。

2）t_2 为从断路器 Q1（或 Q2）断开、电源 U_2（或 U_1）正常至母联断路器 Q3 闭合的延时时间。

3）t_3 为从电源 U_1（或 U_2）恢复正常至母联断路器 Q3 断开的延时时间。

4）t_4 为从母联断路器 Q3 断开至断路器 Q1（或 Q2）闭合的延时时间。

5）在延时时间范围内，DPT/TE 具有可返回特性。打开面板上调整旋钮封盖，用小螺钉旋具调整相应的旋钮（顺时针方向旋转为增加延时）。设定后需按复位开关，以使设定值时间生效。出厂设定值为最小值。

6）脱扣报警：当断路器因电路故障脱扣时，报警灯会闪烁，而相应的脱扣指示灯发光，并发出蜂鸣声。当故障排除后，报警便会自动解除。

7）断相报警：当各路电源断相时，报警灯会闪烁，而相应的断相指示灯发光，并发出蜂鸣声。

8）拒执行报警：当 DPT/TE 发出操作指令后，若任何断路器未能按要求执行闭合或断开操作，则系统报警灯会闪烁，并发出声音报警（若已设定了延时时间，在延时过程中，则不会发出拒执行报警信号）。

9）装置复位：如果调试 DPT/TE 时出现故障、死循环现象，只需按复位 RESET 按钮，便可使系统恢复到正常运行状态。此时，若运行开关 RUN 不在运行 RUN 位置，应将其拨到运行 RUN 位置，系统即恢复到正常运行状态。

5. 安装接线

DPT/TE 双电源自动切换装置安装接线如图 13-47 所示；DPT/TE6300 与 Emax E 断路器相配合时，其接线端子安装如图 13-48 所示。

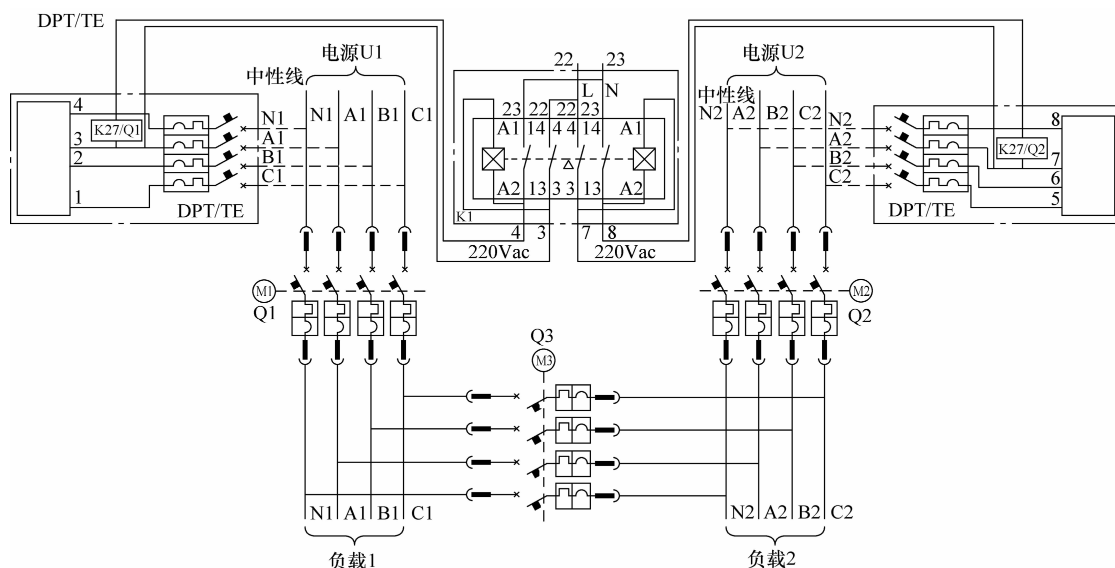
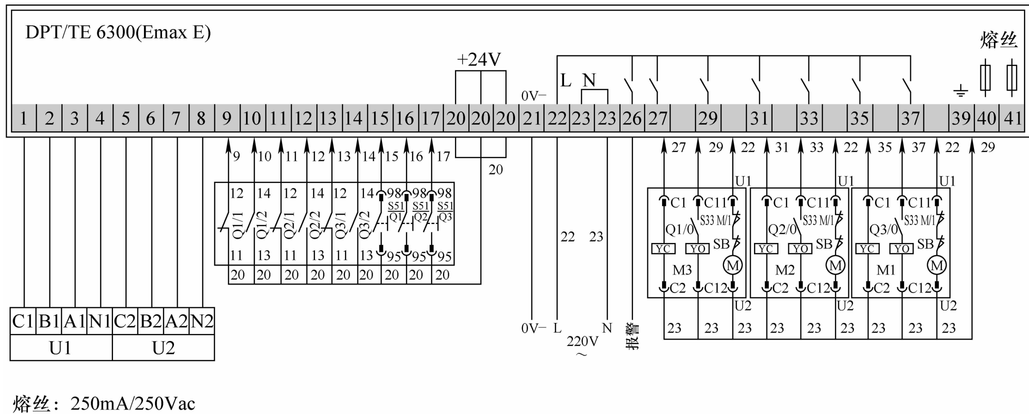


图 13-47　DPT/TE 双电源自动切换装置安装接线



外接导线	U1应急电源				U2正常电源				Q1辅助触点						Q2辅助触点					
Emax E	C1	B1	A1	N1	C2	B2	A2	N2	12	14	98	11	13	95	12	14	98	11	13	95
端子号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20	20	20	11	12	16	20	20	20

外接导线	Q3辅助触点						0V−	N	报警	M3电动操作机构						M2电动操作机构						M1电动操作机构						⏚
Emax E	12	14	98	11	13	95				C2	C12	U2	U1	C1	C11	C2	C12	U2	U1	C1	C11	C2	C12	U2	U1	C1	C11	
端子号	13	14	17	20	20	20	21	23	26	23	23	23	22	27	29	23	23	23	22	31	33	23	23	23	22	35	37	39

图 13-48　DPT/TE 6300 与 Emax E 接线端子安装

第十二节　微机保护的运行维护

一、投运前的注意事项

1）检查装置背后插件插入可靠，插件固定螺钉及端子固定螺钉应拧紧，背部接线、端子排接线正确牢固。

2）液晶显示窗口显示正常，显示画面与实际相符。

3）时间显示与北京时间相符。

4）检查保护投退、整定值输入是否正确，显示的运行定值应与定值单一致。

5）检查保护压板是否投入，装置液晶框显示保护压板的投退状态应正常。

6）装置工作是否正常。

7）保护、远动、运行人员口令投入。

8）将装置校时，在本单元“时钟”菜单中进行校时，以便准确记录事件发生时间，或通过通信管理单元时钟校时，或通过主站或当地监控校时。

9）用“系统复归”清除试验时的各种记录。

二、装置操作

1. 操作键

1）方向键：由向上、向下、向左、向右 4 个键组成，用于移动液晶显示窗口上的光标。

2）ENT 键：调用主菜单及确认。

3）ESC 键：放弃式返回上级菜单。

4）“ + ”、“ − ”：用于数据的增加、减少。

5）液晶显示框：采用中文菜单式对话方式。

2. 液晶显示主菜单内容

1）采样：显示电流、电压的有效值、测量值、电量值。

2）事件：报告显示、录波打印。

3）定值：定值显示、修改、切换、打印。

4）系统设置：压板设置、时间调整、测能设置。

5）系统测试：开出传动、开入检查、综自功能。

6）其他：版本信息、逻辑信息、装置标识。

3. 在主菜单允许值班员操作的项目

1）保护切换定值区，定值的显示。

2）报告管理的动作记录、告警记录、录波记录、操作记录显示。

3）采样信息的显示。

4）时间设置。

4. 不允许值班员操作的项目

1）系统测试中的开出传动、开入检查、综自功能。

2）定值操作中的定值修改、定值删除。

3）系统设置中压板设置、测能设置。

三、运行后的注意事项

1）投入运行后注意检查电流、电压、有功、无功、功率因数显示与实际情况是否一致。

2）检查电压、电流相位是否正确。

3）检查断路器、隔离开关状态与实际状态是否一致。

4）检查装置指示灯是否正常。

5）检查远动功能是否完善正确。

6）投入运行后，任何人不得再触碰装置的带电部位或拔插设备及插件，不允许随意按动面板上的键盘。

四、运行维护时的注意事项

1）注意检查运行灯、跳、合闸指示灯、电源灯、通信指示灯是否正常。

2）当运行灯变红色时，检查事件类型，一方面在液晶菜单上显示了时间类型，另一方面可进入事件记录中查看记录。

3）检查液晶显示量值是否正确。

4）就地操作后，将“远方/就地”切换开关切换到远方（无人值班或在当地监控上操作时）。

5）不要随意更改有关口令设置。

6）严禁随意修改有关设置。

7）严禁带电插拔 CPU 板。

8）严禁进行“系统复归”，以便调出有关事件记录，便于故障分析。

9）技术人员一般在厂家指导下更换备件。

五、保护测控装置异常故障处理

1）RAM 出错。保护板 RAM 出错，运行灯熄灭，闭锁保护。需通知厂方处理。

2）ROM 出错。保护板 ROM 出错，运行灯熄灭，闭锁保护，需通知厂方处理。

3）定值出错。保护板定值出错，运行灯熄灭，闭锁保护，将定值重新整定后再按复位键就可消除。

4）PT 断线。当 PT 断线投入为“1”时，①正序电压小于 30V，而任一相电流大于 0.3A；②负序电压大于 8V。满足两个条件之一延时 10s 发出报警信号，报警灯亮。

5）频率异常。当系统频率不在 49.5 ~ 50.0Hz 范围内超过 10s 将发报警信号，报警灯亮。

6）CT 断线。A-D 采样通道故障或当两相电流值相差大于 25% 延时 10s 发报警信号，报警灯亮。

7）TWJ 异常。当 TWJ 为 1，而任一相电流大于 0.1A 延时十秒发报警信号，报警灯亮。

8）控制回路断线。当 TWJ 为 0，HWJ 为 0 延时 3s 发报警信号，报警灯亮。

9）弹簧未储能。当弹簧未储能触头输入时发报警信号，报警灯亮同时闭锁重合闸。

10）线路电压异常。重合闸检同期无压投入，线路电压小于 50% 额定，TWJ 为 0，任一相电流大于 0.3A 报线路电压异常，发报警信号，报警灯亮，不闭锁保护。

11）事故总信号。当 HWJ 为 1 时，发生保护动作或开关偷跳将发事故总信号，报警灯亮 3s，同时一个触头动作 3s，电站中启动事故音响回路。

12）接地报警。当装置不平衡电压大于 30V 时，装置将发接地报警信号，如果通过网络分析小电流接地数据，实现小电流接地选线功能。

第十四章　防雷与接地装置

第一节　防 雷 装 置

一、防直击雷装置

城区新建的 10kV 配电室，一般采用安装避雷网和避雷带防止电气设备受直击雷的侵袭。

1. 避雷网

避雷网用于保护平顶或斜顶屋面且屋顶面积较大的建筑物。先是沿屋顶边缘及凸出物、屋面凸出物的边缘设置避雷线，避雷线一般用 $\phi12 \sim \phi16$mm 的镀锌圆钢制成，并用同径圆钢或专用卡子支持，卡子间距一般为 600～800mm，专用卡子是预先为避雷线埋设的。

然后在屋顶同样用 $\phi12 \sim \phi16$mm 镀锌圆钢将屋外分成 6m×6m 或 6m×10m 或 10m×10m 的方格，并与屋缘先设置的避雷线相焊接，再用专用支座将屋面的镀锌圆钢线网格支起，支座的间距一般为 1000～1200mm。

最后同样用 $\phi12 \sim \phi16$mm 镀锌圆钢在屋面四角或两个角将做好的避雷网引至地下的接地装置，引下线与避雷网焊接后沿墙引下，并用专用支持卡子支好，卡子间距 2000～2500mm。引下线也可用钢筋混凝土柱子内的主筋代用，但连接必须可靠。

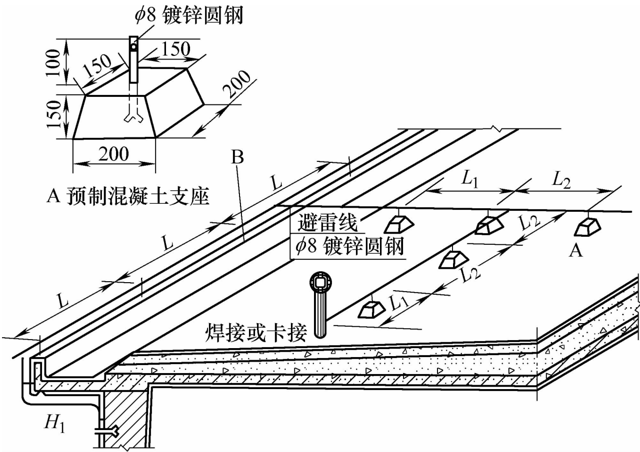


图 14-1　屋顶避雷网格的设置及引下线

避雷网的保护范围一般是自身，不必计算，但是在设置避雷网周围较之低的建筑也在保护范围内，一般设置避雷网的建筑物的侧面或四角处的保护范围可参考避雷针的保护范围进行估算。因此，建筑群内较低的建筑物一般可不设避雷网。屋顶避雷网格的设置及引下线如图 14-1 所示。

避雷网（线）的支架及引下线如图 14-2 所示。

屋顶防雷线支撑预埋示意如图 14-3 所示。

2. 避雷带

避雷带也称均压环，用于防止高层建筑的立面和侧面遭雷击。它和屋顶的避雷网或避雷针组成了完整的避雷系统。

自建筑物的 30m 高处及以上每 3 层沿建筑物四周设避雷带，避雷带一般用 $\phi12$mm 圆钢

或 12mm×4mm 扁钢埋入建筑物圈梁的外皮上（即拆模后应裸露在混凝土圈梁的外皮上），并与柱子的主筋可靠焊接。同时，建筑物四周墙壁上的金属窗、金属构架（物）必须与避雷带多点可靠连接。

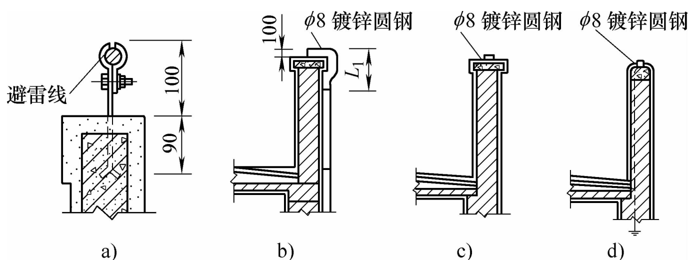


图 14-2　避雷网（线）的支架及引下线

a）挑檐支座支架　b）有支架防雷线明装引下线做法　c）有支架防雷线暗装引下线做法　d）无支架防雷线暗装引下线做法

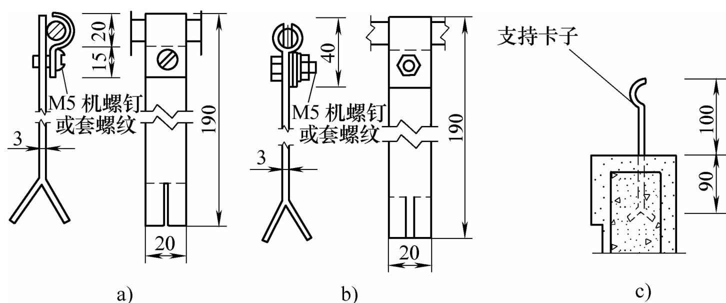


图 14-3　屋顶防雷线支撑预埋示意图

a）支持卡子 1 式结构　b）支持卡子 2 式结构　c）预埋件结构

避雷带的保护范围与避雷网相同。

避雷网与避雷带应有可靠接地，单独接地时，接地电阻应小于 10Ω，一般可与主接地网相连接。

二、防感应雷装置

1. 简介

雷电感应会产生很高的过电压，雷电波会侵入配电所、电气设备及建筑物内，损坏电气设备。为了防止感应雷过电压对电气设备的损坏，一般安装氧化锌避雷器进行保护。

2. 配电变压器防雷保护

10/0.4kV 的配电变压器，农村一般使用 Yyn0 联结，城区一般使用 Dyn11 联结，为了防止配电变压器被感应雷袭击损坏，可以在配电变压器高、低压侧安装氧化锌避雷器，其原理接线如图 14-4 所示。此外，还应将避雷器、配电变压器低压侧中性点及配电变压器外壳共同接地。接地电阻一般控制在 4

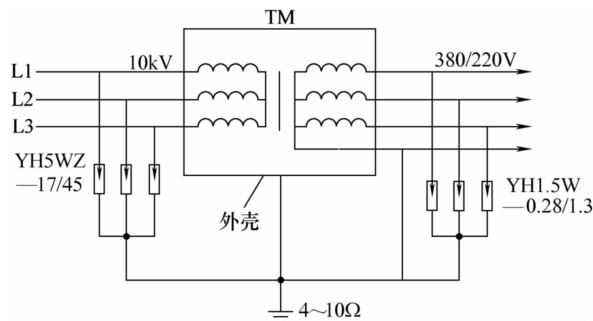


图 14-4　10kV、Yyn0 联结的配电变压器防雷电保护接线

~10Ω。

3. 氧化锌避雷器

0.22~10kV 氧化锌避雷器的技术参数见表 14-1。

表 14-1　0.22~10kV 氧化锌避雷器的技术参数

型　　号	系统额定电压/kV	避雷器额定电压/kV	持续运行参考电压/kV	直流 1mA 参考电压(不小于)/kV	工频 1mA 参考电压(不小于)/kV	标称放电电流下残压(不大于)/kV	方波冲击耐受电流(2ms)/A
YH1.5W—0.28/1.3	0.22	0.28	0.24	0.60	0.28	1.3	75
YH1.5W—0.5/2.6	0.38	0.5	0.42	1.20	0.5	2.6	75
YH5WS—10/30	6	10	8	15	10	30	100,150
YH5WZ—10/27	6	10	8	15	10	27	200,400
YH5WR—10/27	6	10	8	15	10	27	200,400
YH5WS—17/50	10	17	13.6	25	17	50	100,150
YH5WZ—17/45	10	17	13.6	24	17	45	400
YH5WR—17/45	10	17	13.6	24	17	45	400,600

选择的避雷器额定电压应大于或等于所在保护回路的标称额定电压，即

$$U_{bN} \geqslant U_{sN} \tag{14-1}$$

式中，U_{bN}为避雷器的额定电压，单位为 kV；U_{sN}为系统标称额定电压，单位为 kV。

第二节　接 地 装 置

一、接地的种类

1. 工作接地

电力系统中为了运行的需要而设置的接地为工作接地，如图 14-5a 所示。工作接地可以减轻一相接地故障的危险性，稳定系统电压。

2. 重复接地

除配电变压器中性点接地外，与中性点连接的引出线为工作零线，将工作零线上的一点或多点再次与地可靠的电气连接为重复接地，如图 14-5a 所示。

3. 保护接地

为了保证人身安全，电气设备外露可导电部分与大地作可靠的电气连接，称为保护接地，如图 14-5b 所示。

4. 保护接零

为了保证人身、电气设备的安全，将电气设备外露可导电部分与保护线连接，称为保护接零，如图 14-5a 所示。从配电变压器中性点引出的专供保护接零 PE 线，与工作零线 N 线应严格分开安装。

为了确保人身、设备的安全，下列设备金属部分均应接地或接零：变压器的外壳，屋内外配电装置的金属或钢筋混凝土构架以及靠近带电部分的金属遮栏和金属门，配电、控制、

保护用的屏（柜、箱）及操作台等的金属框架和底座，电力电缆的接头盒、终端头和膨胀器的金属外壳和电缆的金属护层、可触及的电缆金属保护管和穿线的钢管，电缆桥架、支架和井架，控制电缆的金属护层，SF_6 封闭式组合电器和箱式变电站的金属箱体，电热设备的金属外壳等。

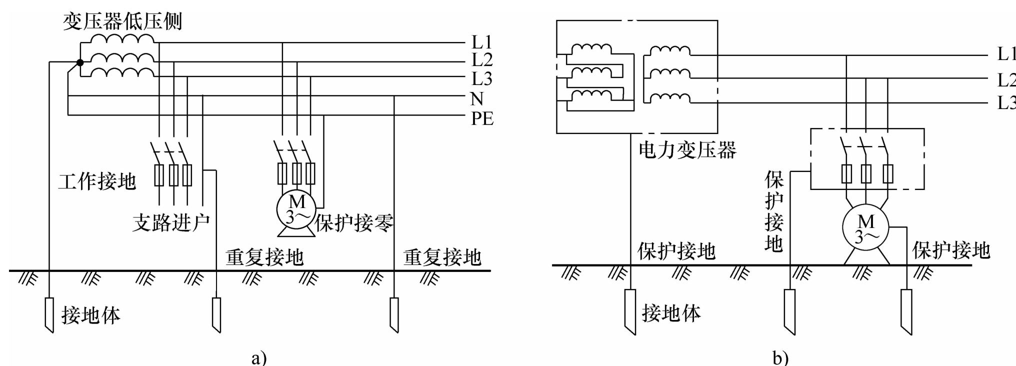


图 14-5　接地种类

a）工作接地和重复接地　b）保护接地

二、接地电阻

1. 工作接地电阻

1kV 以上大接地电流系统，接地电阻要求为

$$R_o \leqslant \frac{2000V}{I_K} \tag{14-2}$$

式中，R_o 为接地电阻，单位为 Ω；I_K 为流经接地装置的入地短路电流，单位为 A。

当 $I_K \geqslant 2000A$ 时，有

$$R_o \leqslant \frac{2000V}{I_K} = \frac{2000V}{2000A} \leqslant 1\Omega$$

当 $I_K \geqslant 4000A$ 时，有

$$R_o \leqslant \frac{2000V}{I_K} = \frac{2000V}{4000A} = 0.5\Omega$$

容量在 100kV · A 以上的配电变压器中性点直接接地的接地电阻 $R \leqslant 4\Omega$，重复接地电阻 $R \leqslant 10\Omega$。

容量在 100kV · A 及以下的配电变压器中性点直接接地的接地电阻 $R \leqslant 10\Omega$，重复接地电阻 $R \leqslant 30\Omega$。

2. 保护接地电阻

根据国际电工委员会标准规定，人体受电击时安全电压限值为 50V。因此，电气设备外壳安装保护接地后，当设备发生漏电时，人体接触电压应在 50V 以下，以确保人身安全。电动机保护接地系统如图 14-6 所示。

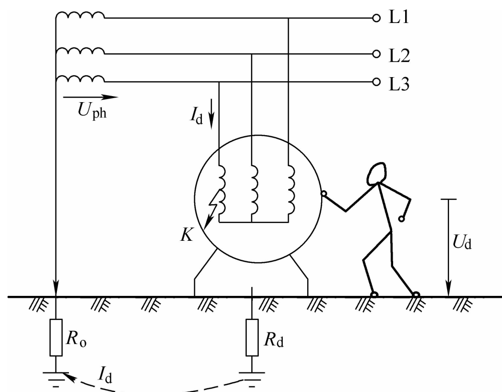


图 14-6　电动机保护接地系统

配电变压器工作接地电阻 $R_o=4\Omega$，电动机保护接地电阻 $R_d=1.18\Omega$，当电动机发生漏电故障时，人体接触电压为

$$U_d=\frac{U_{ph}}{R_o+R_d}R_d=\frac{220}{4+1.18}\times1.18V=50V$$

配电变压器工作接地电阻 $R_o=10\Omega$，保护接地电阻 $R_d=2.94\Omega$，当电动机发生漏电故障时，人体接触电压为

$$U_d=\frac{U_{ph}}{R_o+R_d}R_d=\frac{220}{10+2.94}\times2.94V=50V$$

电气设备发生漏电故障时，仅靠接地保护，往往不能保证人身、设备的安全，必须安装剩余电流保护器切除故障设备。

三、接地体与保护接地线

保护接地引线一般可用圆钢或扁钢制作，其最小直径、截面尺寸不得小于表 14-2 所列数值。

表 14-2　接地体和接地线的最小规格

类　别	地　上		地　下	
	屋内	屋外	屋内	屋外
圆钢直径/mm	5	6	8	8
扁钢截面积/mm^2	24	48	48	48
扁钢厚度/mm	3	4	4	4
角钢厚度/mm	2	2.5	4	4
作接地体的钢管壁厚/mm	2.5	2.5	3.5	3.5
作接地线的钢管壁厚/mm	1.6	2.5	1.6①	

① 表中屋内地下敷设的钢管，系指敷设于室内地坪内。

低压电器设备铜铝接地线的截面积不应小于表 14-3 的规定。

表 14-3　低压电器设备地面上外露的接地线的最小截面积　　（单位：mm^2）

名　称	铜	铝	钢
明敷的裸导体	4	6	12
绝缘导体	1.5	2.5	
电缆的接地芯或与相线包在同一保护外壳内的多芯导线的接地芯	1	1.5	

中性点直接接地的低压系统电气设备的专用接地线可与相线一起敷设，其截面积一般不大于下列数值：钢，80mm^2；铜，50mm^2；铝，70mm^2。钢、铝、铜接地线的等效截面积见表 14-4。

表 14-4　钢、铝、铜接地线的等效截面积　　（单位：mm^2）

钢	铝	铜	钢	铝	铜
15×2	—	1.3~2	20×4	8	5
15×3	6	3	30×4 或 40×3	16	8

（续）

钢	铝	铜	钢	铝	铜
40×4	25	12.5	80×8	50	35
60×5	35	17.5～25	100×8	70	42.5～50

四、接地电阻的计算

垂直接地体的接地电阻可按式（14-3）计算，即

$$R=\frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{8L}{d}-1\right) \tag{14-3}$$

式中，R 为垂直接地体的接地电阻，单位为 Ω；ρ 为土壤电阻率，单位为 Ω·m。常见土壤电阻率见表 14-5，或现场实测；L 为垂直接地体的长度，单位为 m，当几根相同尺寸的垂直接地体时，L 的长度应包括所有垂直接地体的长度，及水平接地体的长度之和；d 为接地体直径，单位为 m，几何尺寸如图 14-7 所示。

表 14-5　常见土壤电阻率

土壤种类	电阻率近似值 /Ω·m	土壤种类	电阻率近似值 /Ω·m	土壤种类	电阻率近似值 /Ω·m
黑土、园田土	50	砂土	300	多岩山地	5000
砂质粘土	100	多石土壤	400	在湿土中的混凝土	100～200
黄土	200	砂、砂砾	1000		

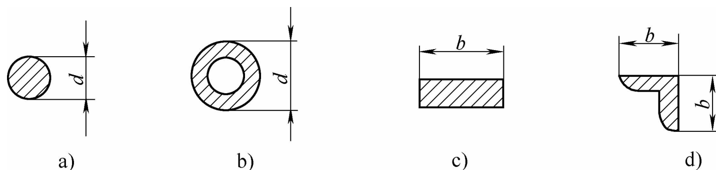


图 14-7　接地体计算尺寸

a）圆钢　b）钢管　c）扁钢　d）角钢

在图 14-7 中，圆钢计算几何尺寸为 d，钢管 $d=d_1$，扁钢 $d=\frac{b}{2}$，角钢 $d=0.84b$。

【例 14-1】　一根圆钢 $\phi20\times2500$mm 接地极，田园土壤电阻率 $\rho=50\Omega\cdot m$，计算接地电阻。

解：接地电阻按式（14-3）计算，得

$$R=\frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{8L}{d}-1\right)=\frac{50}{2\times3.14\times2.5}\times\left(\ln\frac{8\times2.5}{0.02}-1\right)\Omega=18.81\Omega$$

用同样的计算方法，将常用接地装置的工频接地电阻值，计算后列于表 14-6，供查取。

为了简化单根接地体的接地电阻计算，一般单根接地体长度为 2.5～3m 时，可按式（14-4）计算，即

$$R\approx0.3\rho \tag{14-4}$$

表 14-6 常用接地装置的工频接地电阻

型式	简图	材料尺寸/mm 及用量/m				土壤电阻率/(Ω·m)			
		圆钢 ϕ20	钢管 ϕ20	角钢∟ 50×50×5	扁钢 -40×4	50	100	250	500
						接地电阻/Ω			
单根	0.6m 2.5m	2.5	 2.5	 2.5		18.81 15.89 16.44	37.62 31.78 32.88	94.05 79.45 82.2	188.1 158.9 164.4
2 根	5m		5.0	 5.0	5.0 5.0	5.07 5.21	10.14 10.42	25.35 26.05	50.7 52.1
3 根	5m 5m		7.5	 7.5	10.0 10.0	3.15 3.23	6.30 6.46	15.75 16.15	31.5 32.3
4 根	5m 5m 5m		10.0	 10.0	15.0 15.0	2.32 2.37	4.64 4.14	11.6 11.85	23.2 23.7
5 根			12.5	 12.5	20.0 20.0	1.85 1.89	3.70 3.78	9.25 9.45	18.5 18.9
6 根			15.0	 15.0	25.0 25.0	1.54 1.57	3.08 3.14	7.70 7.85	15.4 15.7
8 根			20.0	 20.0	35.0 35.0	1.16 1.19	2.32 2.38	5.80 5.95	11.6 11.9

五、接地装置的安装

1. 接地装置的布置

单台配电变压器中性点接地装置，一般采用扁钢将垂直接地体焊接在一起，接地体埋深为0.8m，每根垂直接地体长度为2.5m，两根垂直接地体之间距离为5m。整个接地装置的布置如图14-8所示。

2. 配电室的接地装置

配电室内整个接地装置用扁钢网状布置，根据其接地电阻的要求，分别焊接长度为2.5m的垂直接地体。接地装置的基本要求如下：

1）接地网总接地电阻应≤4Ω，如实测不足时，需扩大水平接地体范围。

2）室外水平接地体和垂直接地体应敷设在自然土壤中，埋设深度≥0.8m，接地网外缘各角应做成圆角，其半径 $R=3.5$m，室内一层地网敷设

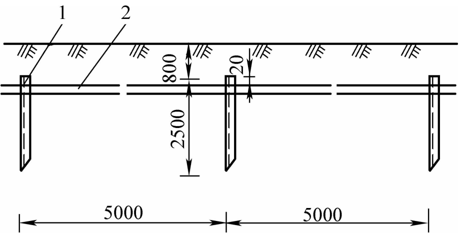


图 14-8 单台配电变压器中性点接地装置的布置
1—垂直接地体 2—水平接地体

在层底板找平层内。

3）接地网在回填土时，应将低电阻率土壤直接覆盖水平接地体，尽量减少接地网的接地电阻。

4）接地线应采用搭接焊接方式，其搭接长度应为扁钢宽度的 2 倍或圆钢直径的 6 倍，焊接处涂沥青防腐。

5）所有设备安装处、构架、支架、预埋件及电缆沟接地带等均应敷设接地引线与接地网可靠焊接。

6）室内外电缆沟内的预埋件应多处（每条电缆沟至少 3 点）与地网主干线相接，支架与接地网连接应可靠，设备接地引下线不得直接连到电缆沟内的接地带上。

7）室内地面预埋件均应与本层地网牢固连接，严禁在一个接地线中串接几个需要接地的部分。

8）在土建施工时，如接地网主干线与基础相碰时，主干线可适当移位或绕开，严禁将地网主干线开断。

9）所有接地用材料均需做热镀锌处理，接地装置的施工应符合《电气装置安装工程施工及验收规范》。

10）从室外主地网有多点（连接处应靠近垂直接地体）用接地扁钢在粉刷层内沿内墙与屋顶避雷带可靠连接。

11）建筑物的柱体、楼板及屋顶内的钢筋应分别引出一根与各层地网焊接。

12）变压器接地网后再与主接地网连接，变压器接地网地下连接点至主接地网的地下连接点之间接地体的长度不得小于 15m。

3. 接地装置的施工工艺

垂直接地体与水平接地体的连接工艺如图 14-9 所示，扁钢搭接工艺如图 14-10 所示。

六、土壤电阻率的测量

利用带 4 个接线端钮（P1、C1、P2、C2）的接地电阻测试仪（量限为 0 ~ 1Ω、0 ~ 10Ω、0 ~ 100Ω），可以测量土壤的电阻率。

测量土壤电阻率的接线方法如图 14-11 所示。在被测区域沿直线插入 4 根接地体，彼此距离为 S，埋入深度不应超过 $S/20$。如 S 为 10m，则接地体埋入深度不应超过 0.5mm。测量方法与接地电阻的测量方法相同。

所测的土壤电阻率为

$$\rho = 2\pi S R_x \tag{14-5}$$

式中，S 为接地体之间的距离，单位为 m；R_x 为接地电阻测试仪上的示数，单位为 Ω。

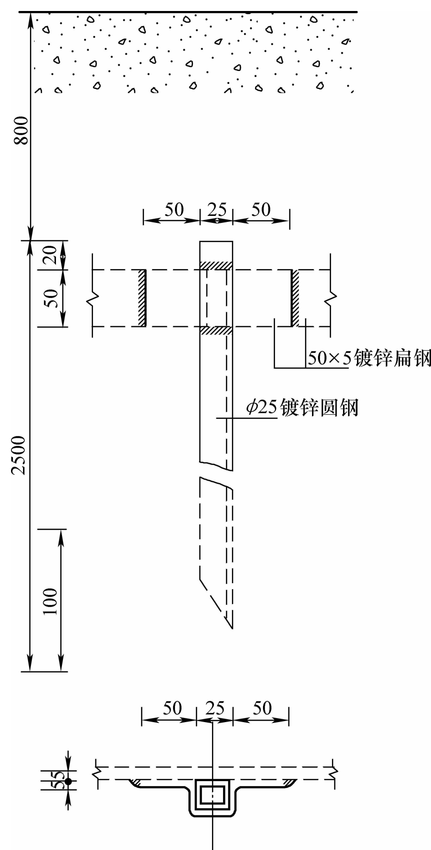


图 14-9　垂直接地体与水平接地体的连接工艺

角钢∟50×5×2500

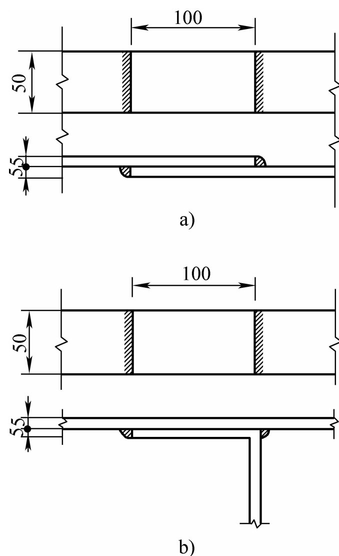


图 14-10　扁钢搭接工艺
a）水平搭接　b）垂直搭接

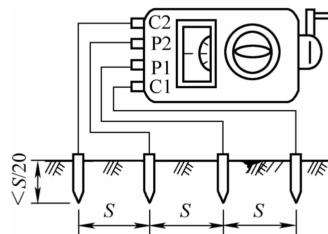


图 14-11　土壤电阻率的测量

一般需测几次，取其平均值。

七、测定接地电阻值

接地装置安装施工结束后，应实测接地电阻值，如果接地电阻值达不到设计要求，应补种接地体。

测量接地电阻值通常使用接地电阻测试仪。国产接地电阻测试仪有 ZC-8 型和 ZC-29 型等。测试仪分为 3 个接线端钮和 4 个接线端钮两种。带 3 个接线端钮（E、P、C）的适用于直接测量各种接地装置的接地电阻值及一般导体的电阻值；带 4 个接线端钮（P1、C1、P2、C2）的除可测量上述电阻外，还可测量土壤的电阻率。

用这两种测试仪测量接地电阻值时的接线方法如图 14-12 所示。

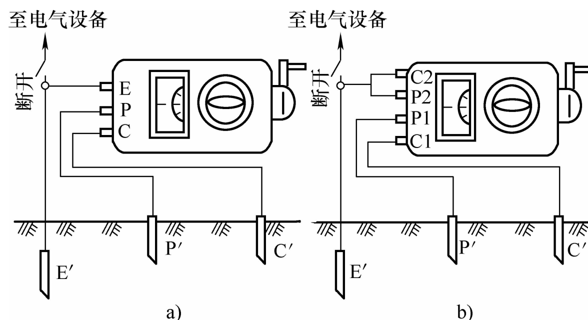


图 14-12　测量接地电阻示意图
a）3 个端钮测试仪　b）4 个端钮测试仪

测试前，先切断接地装置与电源或电气设备的所有联系。使用专用导线将接地体 E′、电位探测针 P′和电流探测针 C′分别与仪表上的相应接线端钮相连。通常 E′、P′和 C′成直线排列，彼此相距约 20m，P′和 C′插入地下 0.5 ~0.7m。

测量时，放平仪表，先检查检流计的指针是否指在中心线上，若不在中心线位置，可用零位调整器将其调整在中心线上。将“倍率标度”钮拨到最大倍数，慢慢摇动发电机的摇把，同时转动“测量标度盘”，使检流计的指针指于中心线上。当检流计的指针接近于平衡时，加快发电机摇把的转速，使其达到120r/min，再调整“测量标度盘”，使指针指于中心线上。用“测量标度盘”的读数乘以“倍率”的倍数，即为所测得的接地电阻值。

【例 14-2】 某农村在村口田园处，台架式安装一台 S11-100/10 型配电变压器，配电变压器额定电压为 10/0.4kV，额定容量为 100kV · A，配电变压器的高、低压侧避雷器，低压侧中性点及配电变压器的外壳共同接地，接地电阻要求小于 10Ω，设计该配电变压器的接地装置。

解： 配电变压器接地装置示意图如图 14-5 所示。

接地体选用 ϕ20 × 2500mm 的圆钢两根，两接地体之间相距 5m，接地体总长 $L = 2.5\text{m} \times 2 + 5\text{m} = 10\text{m}$，查表 14-6 得田园土壤电阻率 $\rho = 50\Omega \cdot \text{m}$，接地电阻按式（14-3）计算，得

$$R = \frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{8L}{d} - 1\right) = \frac{50}{2 \times 3.14 \times 10} \times \left(\ln\frac{8 \times 10}{0.02} - 1\right)\Omega = 5.8\Omega < 10\Omega,$$

故满足要求。

【例 14-3】 某城镇居民区 10kV 户内变配电室，安装 2 台 SC10—800/10 型配电变压器，变配电室位于砂质粘土，土壤电阻率 $\rho = 100\Omega \cdot \text{m}$，接地电阻要求小于 1Ω，设计该变配电室的接地装置。

解： 该变配电室的接地装置如图 14-13 所示。

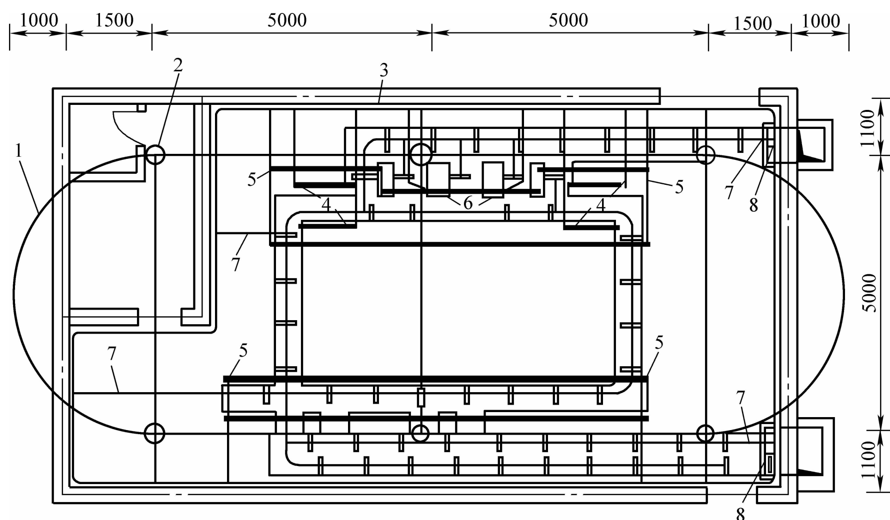


图 14-13　某城镇居民区 10kV 户内变配电室的接地装置

1—主接地网　2—主接地网与等电位接地环网焊接处　3—土建等电位接地网
4—变压器接地　5—开关柜、配电柜基础槽钢接地　6—10kV 避雷器接地
7—电缆沟电缆支架接地　8—电缆出线桥架接地

变配电室电气设备的明显接地处见表 14-7，接地设备材料见表 14-8。

表 14-7　变配电室电气设备的明显接地处

序号	变配电室电气设备的明显接地处	备　　注
1	主接地网与等电位环网连接点（计 4 处）	由主接地网引出后焊接
2	变压器接地（每台 2 处计 4 处）	由等电位环网点引出后焊接
3	开关柜、配电柜基础槽钢接地（4 处）	由等电位环网点引出后焊接
4	10kV 避雷器接地（2 处）	由等电位环网点引出后焊接
5	电缆沟电缆支架接地（4 处）	由等电位环网点引出后焊接
6	电缆出线桥架接地（2 处）	由等电位环网点引出后焊接

表 14-8　接地设备材料

编号	名　　称	规　　格	单位	数量	备　　注
1	接地母线	－50×5 扁铁	m	80	热镀锌
2	接地体	∠50×50×5＝2.5m	根	6	热镀锌
3	接地支线	－50×5 扁铁	m	95	热镀锌

变配电室垂直接地体 6 根∠50mm×50mm×5mm 角钢，等效直径 $d=0.84b=0.84\times 50\text{mm}=0.042\text{m}$，角钢垂直接地体总长 $2.5\text{m}\times 6=15\text{m}$，水平连接扁钢 $-50\times 5\text{mm}^2$ 总长 175m，则接地体总长 $L=15\text{m}+175\text{m}=190\text{m}$，土壤电阻率 $\rho=100\Omega\cdot\text{m}$，则变配电室的接地电阻按式（14-3）计算，得

$$R=\frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{8L}{d}-1\right)=\frac{100}{2\times 3.14\times 190}\left(\ln\frac{8\times 190}{0.042}-1\right)\Omega=0.8\Omega$$

该值满足接地电阻小于 1Ω 的要求。

接地装置施工时，应注意以下一些事项：

1）全变配电室的主接地网与土建接地作等电位联结，装置接地电阻应小于 1Ω，施工完成后进行接地电阻测量，超过标准应补种至合格。

2）有避雷器的独立接地应在避雷器接地点连接并可拆，测量时予以分开，接地装置的接地电阻应小于 10Ω。

3）接地装置采用电焊连接，扁钢搭接长度不小于宽度的 2 倍，并至少 3 个棱边进行焊接。

4）角钢与扁钢焊接时，应两侧进行焊接，扁钢距角钢顶部应有大约 100mm 的距离。

5）接地装置埋设深度应大于 0.7m，施工并验收合格后方可予以复土。

6）接地装置焊接处应二度防锈油漆防锈，接地的外露部分应涂以黄绿相间漆。

7）接地部分应遵守电气安装工程施工及验收规范。

【例 14-4】 某 10kV 室内配电所，10kV 单电源架空进线，高供低计。10kV 侧采用负荷开关熔断器组合环网柜，安装 1 台容量为 500kV · A 油浸式配电变压器，Dyn11 联结，试设计安装该配电所的接地装置。

解： 配电所接地装置布置如图 14-14 所示。

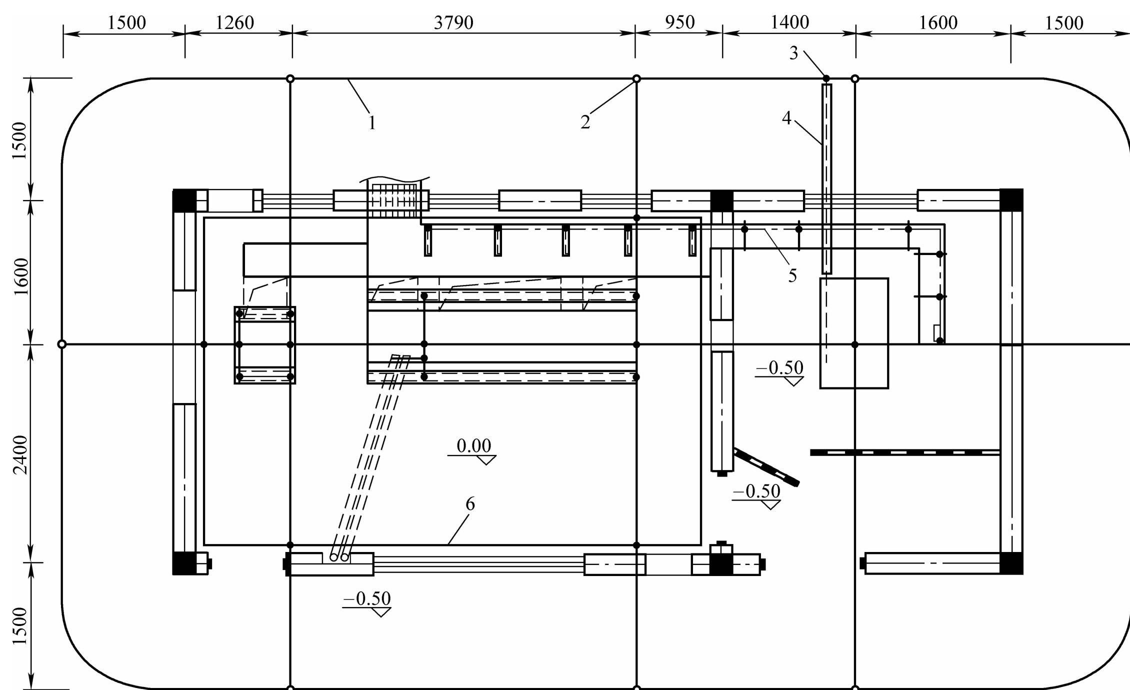


图 14-14　配电所接地装置

1—水平接地扁钢　2—垂直接地极　3—接地交接点　4—配变中性点接地极

5—电缆沟边长接地扁钢　6—内圈接地

配电所接地装置设计安装要求如下：

1）接地扁钢为 50×6 镀锌，长度约为 96m。

2）电缆沟通长接地扁钢 −50×6，长度约为 12m。

3）垂直接地极用 50×5 角钢制成。

4）主地网接地电阻由现场实测，需小于 1Ω，否则应增加垂直接地极。

5）接地装置的施工应满足《电气装置安装工程接地装置施工及验收规范》的规定。

6）接地扁钢、电缆沟金属、预埋穿管等铁件均需作镀锌处理和接地。

7）主变压器基础和开关柜基础槽钢需有两点与主接地网连接。

8）变压器中性点应等电位接地，选用 1×185 低压电缆穿入 ϕ50PVC 管引出所外，接通外圈主地网。测得接地电阻应小于 1Ω。

9）内接地圈。−5×6 扁钢明敷靠墙 15mm、离地 300mm，遇门应入地避让联通，贯通主地网。明圈部分应涂 15～100mm 宽度相等的绿黄色相间条纹。

【例 14-5】　某 10kV 室内配电所，10kV 双电源电缆进线，高供高计。10kV 侧采用固定式开关柜，安装 2 台 SBH11—M-1250/10 型，Dyn11 联结，额定电压 10±2.5%/0.4kV，额定容量 S_N = 1250kV · A 的油浸式配电变压器。试设计安装该配电所的接地装置。

解：配电所的接地装置布置如图 14-15 所示。

配电所接地装置设计安装要求请参考【例 14-4】。

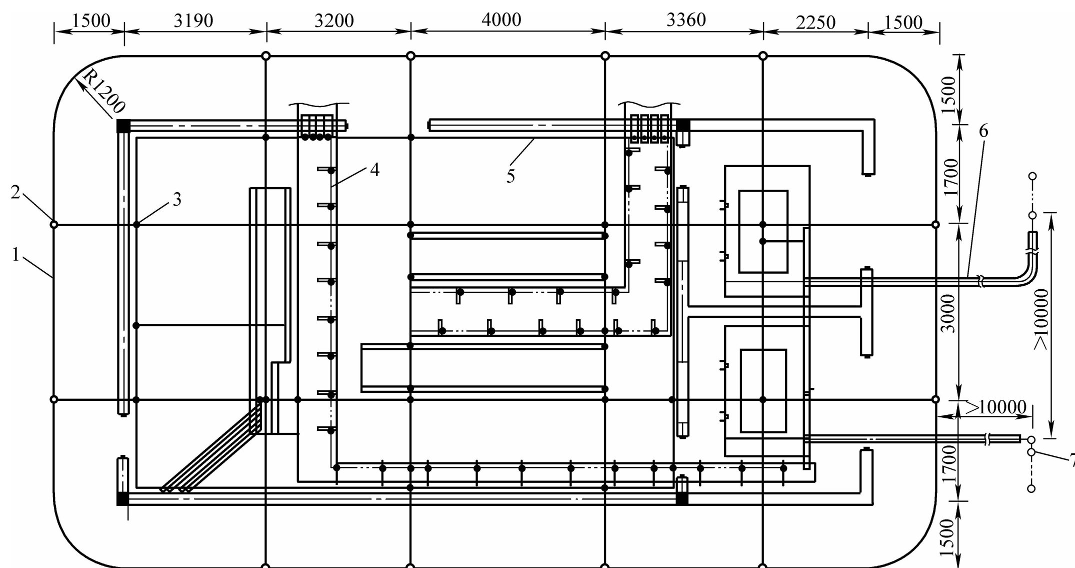


图 14-15　配电所的接地装置布置

1—水平接地扁钢　2—垂直接地极　3—接地交接点　4—电缆沟通长接地扁钢
5—内接地圈　6—ϕ50 配变中性点 PVC 穿管　7—配变中性点接地极

第三节　防雷接地装置的运行维护

一、防雷装置的运行维护

1）检查配电房屋面防雷带有无锈蚀现象，引下线是否完好，接地处是否松动，发现缺陷应及时处理。

2）天气正常时，发现避雷器瓷套有裂纹，应根据要求将故障相避雷器退出运行进行更换。

3）雷雨时发现避雷器有裂纹，应尽量不使其退出运行，待雷雨过后再更换；若造成闪络而未引起接地，应在可能条件下将故障避雷器退出运行。

4）避雷器套管有炸裂现象，并引起系统接地时，运行值班人员应避免靠近，可采用断路器断开故障避雷器。

5）避雷器在运行中突然爆炸，但尚未造成系统永久性接地时，可在雷雨过后，将其退出运行并更换；若爆炸后引起系统永久性接地，则禁止使用隔离开关来操作故障的避雷器。

二、接地装置的安全要求

无论是保护接零，还是保护接地，接地装置都是头等重要的，它是电气系统保护装置的根本保证，安装和运行中都必须符合接地装置的安全要求。

1）接地装置的连接应采用焊接，焊接必须牢固可靠，无虚焊假焊。接至设备上的接地线，应用镀锌螺栓连接；有色金属接地线不能采用焊接时，可用螺栓连接。螺栓连接处的接触面应平整并镀锡处理；凡用螺栓连接的部位，应有防松装置，以保持良好接触的长久性。

2）接地装置的焊接应采用搭接焊，其搭接长度必须符合以下规定：

①扁钢为其宽度的 2 倍，且至少有 3 个棱边焊接。

②圆钢为其直径的6倍，且应在圆钢的接触部位双面焊接。

③圆钢与扁钢连接时，其长度为圆钢直径的6倍，且应在圆钢接触部位的两面焊接。

④扁钢或圆钢与钢管、扁钢或圆钢与角钢焊接时，为了连接可靠，除应在其接触部位两侧进行焊接外，并将扁钢或圆钢弯成弧形或直角与钢管或角钢焊接。

3）利用建筑物的金属结构、混凝土结构的钢筋、生产用的钢结构架梁及配线用的钢管、金属管道等作为接地线时，应保证其全长为良好的电气通路，在其伸缩缝、接头及串接部位焊接金属跨接线，金属跨接线的截面应符合要求。

4）必须保证接地装置全线畅通并具有良好的导电性，不得有断裂、接触不良或接触电阻超标的现象。接地装置使用的材料必须有足够的机械强度，以免折断或裂开，其导体截面应符合热稳定和机械强度的要求。保护接零的保护线其导电能力，不得低于相线的1/2。接地干线应在不同的两点及以上与接地网连接，自然接地体应在不同的两点及以上与接地干线或接地网连接，以保证导电的连续性及可靠性。大接地短路电流电网的接地装置，应校验其发生单相接地短路时的热稳定性，并校验能否承受短路接地电流转换出来的热量且保证稳定、畅通。

5）必须保证接地装置不受机械损伤，特别是明设的接地装置要有保护措施，与公路，铁路或管道等交叉及其他可能使装置遭受损伤处，均应用钢管或角钢等加以保护。接地线在穿过墙壁、楼板或引出地坪沿墙、沿杆、沿架敷设处，均应加装钢管或角钢保护，并涂以15～100mm宽度相等的绿色和黄色相间的条纹，以示醒目注意保护。在跨越建筑物伸缩缝、沉降缝处时，应设置补偿装置。补偿装置可用接地线本身弯成弧状代替。

6）必须保证装置不受有害物质的侵蚀，一般均采用镀锌铁件，凡焊接处均涂以沥青漆防腐，回填土不得有较强的腐蚀性。对腐蚀性较强的土壤，除应将接地线镀锌或镀铜外，还应当增大地线的截面积。因高电阻率土壤的影响而采取化学处理后的土壤，在埋设接地装置时，必须考虑化学物品是否对接地装置有腐蚀作用。

7）必须保证地下埋设的接地装置与其他物体的允许最小距离。接地体与建筑物的距离不应小于1.5m；避雷针的接地装置与道路或建筑物的出入口及与墙的距离应大于3m；接地线沿建筑物墙壁水平敷设时，离地面一般为250～300mm，接地线与墙壁的间隙为10～15mm。垂直接地体的间距一般为其长度的2倍，水平敷设时的间距一般为5m。接地装置的敷设，应远离易燃易爆介质的管道；低压接地装置与高压侧的接地装置应有足够大的距离，否则，中间应加沥青隔离层。

8）接地线不得串联使用，可并联使用。

9）接地装置的埋深一般应大于0.7m，且位于冻土层以下。

10）接地电阻必须符合要求。

无论是保护接零，还是保护接地，运行中人们往往只注重线路的维护检修，而对接地装置，特别是埋设于地下的装置重视不够。这样当接地装置出现故障时，供电系统也会同时出现故障，将是很危险的。

因此，接地装置的运行是一个很重要的内容，必须像供电用电系统那样引起人们的重视，以保证系统的安全运行。

三、接地装置的运行维护

1）凡是埋于地下的接地体、接地线以及利用的自然接地体等隐蔽工程，应按GB

50169—2006 标准进行隐蔽工程验收，并做好中间检查及填写验收记录，其中选材、安装工艺过程、焊接、接地电阻测试及防腐处理等应符合标准的要求。

2）对于明设的接地装置，包括与电气设备外壳的接线点、焊接点、补偿装置、跨接线等易松动的部位应定期检查并紧固一次，发现问题要及时解决；设置的防止机械损伤的装置有否损坏或残缺，防腐是否完好，应及时采取措施。发现明显的电流烧灼现象，如镀锌变色、绝缘损坏时要及时更换，并要有验收合格签证。对于锌皮脱落、油漆爆皮，以及接地线的跌落、碰弯等有碍运行的地方要及时补救。

3）对于暗设及埋入地下的接地装置应定期检查零相回路的阻抗，接地电阻及通断情况，发现不妥要找出原因，对于难以修复的要重新敷设并验收合格。

一般情况下，应挖开接地引线的土层，检查地面以下 500mm 以上部分接地线的腐蚀程度；对于酸、盐、碱等严重腐蚀的区域，每 5 年左右应挖开局部地面进行检查，观察接地体的腐蚀情况。

接地装置接地电阻的测试周期，变电站每年 1 次；架空线路每 2 年 1 次；10kV 及以下线路上变压器或开关设备，每 2 年 1 次，10kV 以上每年 1 次；避雷针每 5 年 1 次，车间每年 1 次，住宅每年 1 次。时间一般为每年 3 ~4 月份或土壤最干燥时进行。

4）接地装置的检修周期在一般情况下，一个月一次小修，半年一次中修，一年一次大修，并做好检修记录及签证。特别是雷雨季节和大电流短路后应加强监视和检查，以免发生意外。每年春季和秋季宜作为检修阶段，并配合系统的检修和测试做好接地装置的运行和检修工作。

参 考 文 献

［1］ 南京电力学校．电力系统继电保护［M］．北京：水利电力出版社，1981.

［2］ 江苏省电力工业局南通供电局．变电运行培训教材［M］．修订版．北京：水利电力出版社，1988.

［3］ 徐在林．直流设备检修岗位技能培训教材［M］．北京：中国电力出版社，1998.

［4］ 华东六省一市电机工程（电力）学会联合编委会，江苏省南通市电机工程学会．电工进网作业考核培训教材（工矿企业电工部分）［M］．北京：中国电力出版社，1999.

［5］ 张全元．变电运行现场技术问答［M］．北京：中国电力出版社，2003.

［6］ 江苏省电力公司．电力营销知识问答·电价电费部分［M］．北京：中国电力出版社，2004.

［7］ 江苏省电力公司．电力系统继电保护原理与实用技术［M］．北京：中国电力出版社，2006.

［8］ 国家电网公司农电工作部．农村供电所人员上岗培训教材［M］．北京：中国电力出版社，2006.

［9］ 国家电网公司．国家电网公司输变电工程通用设计400V 电能计量装置分册［M］．北京：中国电力出版社，2007.

［10］ 国家电监会电力业务资质管理中心．电工进网作业许可证续期注册培训教材［M］．北京：中国电力出版社，2008.

［11］ 孟宪章，罗晓梅．10/0.4kV 变配电实用技术［M］．北京：机械工业出版社，2009.

［12］ 狄富清，狄晓渊．配电实用技术［M］．2 版．北京：机械工业出版社，2012.

［13］ ABB 公司．Emax 空气断路器技术资料.

［14］ ABB 公司．Tmax 塑壳断路器技术资料.

［15］ 俞汝川，陈伟明，黄为源，等．上海市电力工业局新型电力器材及架空绝缘导线典型装置图册资料.

［16］ 江苏省电力公司生产运行部．变电设备管理与运行维护资料选编.







地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

上架指导：　工业技术／电气工程／电工技术
ISBN 978-7-111-41960-0
策划编辑◎付承桂／封面设计◎赵颖喆



定价：88.00元